



PROYECTO FIN DE CARRERA

**DESINFECCIÓN DE AGUA DE
TORRES DE
REFRIGERACIÓN CON
 $\text{Ca}(\text{ClO})_2 + \text{DREWBROM}$**

Autor: Julián de Diego Álvarez

Directora: Eva Francés

Especialidad: Química Industrial

Convocatoria: Junio 2010

**Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio
Ambiente**



ÍNDICE GENERAL

1. PRÓLOGO Y OBJETIVOS DEL PROYECTO	6
2. INTRODUCCIÓN	8
2.1 DESINFECCIÓN.....	8
2.1.1 DEFINICIÓN.....	8
2.1.2. HISTORIA DE LA DESINFECCIÓN	9
2.1.3 NECESIDAD DE LA DESINFECCIÓN	13
2.1.4 CONDICIONES PARA LA DESINFECCIÓN DEL AGUA	15
2.2 TIPOS DE MICROORGANISMOS	16
2.2.1 BACTERIAS	17
2.2.2 VIRUS	18
2.2.3 PARÁSITOS PROTOZOOS	20
2.3. EFECTOS CAUSADOS POR LOS MICROORGANISMOS.....	21
2.3.1 ENFERMEDADES	21
2.3.2 PROBLEMAS MICROBIOLÓGICOS EN LA INDUSTRIA	29
2.4 DESINFECTANTES DEL AGUA.....	44
2.4.1 DESINFECTANTES FÍSICOS	44



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



2.4.2 DESINFECTANTES QUÍMICOS	47
2.5 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DESINFECCIÓN QUÍMICA.....	78
2.5.1 VARIABLES CONTROLABLES EN DESINFECCIÓN	81
2.5.2 ACCIÓN DE LOS DESINFECTANTES QUÍMICOS	81
2.5.3 CINÉTICA DE LA DESINFECCIÓN: LEY DE CHICK.....	82
2.6 SUBPRODUCTOS DE LA DESINFECCIÓN	85
2.6.1 INTRODUCCIÓN	85
2.7 COMPARACIÓN CLORACIÓN Y BROMACIÓN	97
2.7.1 INTRODUCCIÓN	97
2.7.2 QUÍMICA DEL BROMO	97
2.7.3 AMBIENTE NITRÓGENO	98
2.7.4 CINÉTICA.....	100
2.7.5 AGUAS ALCALINAS	101
2.7.6 VENTAJAS QUÍMICAS DEL BROMO FRENTE AL CLORO	103
3. PARTE EXPERIMENTAL	104
3.1 CONSIDERACIONES PREVIAS A LOS CÁLCULOS	105
3.2 REACCIONES	105
3.3 DEMANDA DE BROMO DEL AGUA A TRATAR.....	107



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



3.4 PREPARACIÓN DE ENSAYOS	109
3.4.1 CÁLCULO DE RELACIONES MÁSCAS	109
3.4.2 PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES DESINFECTANTES	113
3.4.3 ENSAYOS DE DESINFECCIÓN	120
3.5 MEDICIÓN DEL BROMO RESIDUAL	123
3.5.1 EQUIPO UTILIZADO	123
3.5.2 RESULTADOS OBTENIDOS	126
3.6 ESTUDIO ECONÓMICO	132
3.7 CONCLUSIONES	137
4. DISEÑO DE LA PLANTA PRODUCCION DESINFECTANTE	138
4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA	138
4.1.1 DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS	143
4.2 CÁLCULOS	157
4.3 COSTES DEL EQUIPO	162
4.4 RENTABILIDAD PROCESO	163
5. ANEXOS	165
5.1 NOMENCLATURA	166
5.2 FICHAS DE SEGURIDAD	167



**Desinfección de agua de torres de refrigeración
con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM**



6.BIBLIOGRAFÍA	189
7.ÍNDICE DE REACCIONES	192



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Agradecimientos:

En primer lugar me gustaría agradecer a mis padres, hermanas por su apoyo a lo largo de la carrera ya que sin su ayuda y apoyo no podría haber realizado el presente proyecto.

También agradecer al departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente la oportunidad que me ha brindado de realizar el proyecto fin de carrera, en especial a *Eva Francés*.

No quiero olvidarme de agradecer la colaboración de *Francisco Belío* y de las empresas *Equipos y Suministros, S.L.*, *Euro-Bombas, S.L* y *Laboratorios IHC* ya que sin su ayuda no se hubiese podido realizar el proyecto.

Por último, y no por ello menos importante, a todos mis amigos, con los que he pasado y espero seguir pasando momentos inolvidables.



1. PRÓLOGO Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

Este proyecto nace debido a la problemática de las empresas dedicadas al sector industrial en la utilización de hipoclorito sódico para la desinfección en sistemas de recirculación de agua y torres de refrigeración principalmente.

El hipoclorito sódico se combina con una sal de bromo para obtener el agente desinfectante (HBrO) que se va a utilizar en el proceso. Una de las funciones principales del desinfectante es el control del crecimiento excesivo de legionella en torres de refrigeración ya que su crecimiento indiscriminado puede causar incluso la muerte en personas afectadas por ella.

La alternativa utilizada hoy en día para este tipo de procesos se basa en la utilización de disoluciones de hipoclorito sódico comercial al 13 % en peso, que debido a su forma líquida, es muy aparatoso de manejar en cuanto a volumen se refiere. Pero no es este el único problema del hipoclorito sódico, y es que, la degradación a la que se ve sometido por la temperatura, luz y tiempo hace que pierda la gran parte de su eficacia, ya que al cabo del tiempo las disoluciones están mucho más diluidas de las de origen o incluso inservibles.

Esto hace que el hipoclorito sódico reaccione con menos cantidad de sal de bromo de la que debería hacerlo para preparar el desinfectante y por lo tanto disminuye la eficacia del desinfectante.

Estos problemas que se acaban de mencionar se traducen en costes adicionales en las empresas, ya que en muchas ocasiones el hipoclorito sódico que se tenía previsto utilizar ya no tiene ningún uso y por lo tanto se debe reponer.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Como consecuencia, se ha pensado utilizar hipoclorito cálcico, que a diferencia del sódico es mucho más fácil de manejar, ya que se vende en forma sólida, ya sea en forma de pastillas, granular o polvo. Esta facilidad de manejo permite la preparación de disoluciones “in situ” más concentradas que disminuyen el volumen de desinfectante a manejar.

Además apenas se degrada por la temperatura y luz como en el primer caso y por lo tanto cabe pensar que es una buena alternativa al hipoclorito sódico. El hipoclorito una vez mezclado con la sal de bromo produce bromo residual libre, o también llamado HBrO que es el encargado de desinfectar junto con su ión disociado BrO^- .

Por todo ello se estudiará el bromo residual por separado que queda después de añadir el desinfectante al agua a tratar. Este bromo residual será medido mediante un fotómetro portátil que determinará si el experimento es viable o no en función de si queda el mismo residual de bromo en ambos casos.

Después de constatar la viabilidad del primer apartado se ha pensado en hacer un pequeño diseño en planta de una de las empresas donde se está llevando a cabo este tipo de tratamiento.

Para ello se han obtenido los datos necesarios para el dimensionamiento del equipo que debe ser montado en las instalaciones así como sus requerimientos técnicos, no sin antes determinar la demanda de bromo del sistema mediante ensayos en el laboratorio.



2. INTRODUCCIÓN

2.1 DESINFECCIÓN

2.1.1 DEFINICIÓN

La desinfección del agua tiene por finalidad la eliminación de los microorganismos patógenos contenidos en el agua que no han sido eliminados en las fases iniciales del tratamiento del agua.

Estos microorganismos pueden afectar la salud humana y necesariamente deben ser eliminados si estamos produciendo agua potable. También pueden afectar equipos en los que el agua va a ser utilizada y deben ser eliminados como forma de preservar dichos equipos, mantener la eficiencia de su operación, no disminuir su vida útil, etc.

Por el contrario, la esterilización de un material implica la eliminación de todas las formas de vida en ese medio, es decir que está completamente libre de gérmenes vivos, y no puede hablarse de un material “quasi” o semi-estéril. La esterilización es importante en aplicaciones medicinales, bioindustriales y agrícolas.

Por su parte, el proceso de desinfección se usa sólo para destruir microorganismos patógenos (infecciosos), sin que necesariamente se hayan destruido todos los microorganismos. Puede haber destrucción de las formas vegetativas, pero no obligatoriamente de las esporuladas. Por lo tanto, la esterilización es un caso particular de la desinfección.



2.1.2. HISTORIA DE LA DESINFECCIÓN

En la sociedad moderna de hoy parece ser una suposición que las industrias siempre han estado abastecidas por el agua que llega a sus instalaciones, cuenta que pasando por unos procesos de desinfección y control que han mejorado con el paso de los años.

Durante cientos de años los procesos de tratamiento de agua han evolucionado la calidad del agua de tal manera que han convertido el agua de un producto relativamente incompleto a uno totalmente regulado.

Los primeros intentos documentados de tratamiento de agua se registran en los antiguos textos griegos remontándose al 2.000 a.C. En este momento, las personas eran conscientes de que el agua hervida ayudaba a purificar y que los métodos de filtración y el esfuerzo ayudó a reducir las partículas visibles y turbidez en el agua. Debido a que no se sabía nada acerca de los microorganismos o contaminantes químicos (que siguen siendo invisibles en el agua hasta el siglo XVII), era la mejor manera de hacer desaparecer el olor y sabor del agua.

La desinfección de las aguas se ha utilizado durante mucho tiempo. Dos reglas básicas se pueden ya encontrar en la antigüedad (desde el 2000 a. C.) que decía que las aguas debían ser expuestas a la luz del sol y filtrada con carbón. El agua impura se debía de hervir e introducir un trozo de cobre siete veces, antes de filtrar el agua. Existen descripciones de civilizaciones antiguas en referencia al agua hervida y el almacenamiento del agua en recipientes de plata. Para llevar a cabo la purificación del agua se utilizaban cobre, plata y técnicas de electrólisis.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



El científico griego Hipócrates que inventó el primer filtro de bolsa de tela entorno al 500 a.c. creía que si el agua olía a “limpio” era inofensiva para el cuerpo. Después de la experimentación en primer lugar por las civilizaciones, los avances en el tratamiento del agua tomaron una larga pausa durante la Edad Media. No sería hasta 1627 en el que los científicos emprendieron de nuevo el problema de la purificación del agua.

En ese año Robert Bacon comenzó a experimentar con una forma de filtración de arena para eliminar partículas de sal del agua del mar. Sus experimentos demostraron gran éxito y su trabajo provocó un resurgimiento de la experimentación de tratamiento de agua. Varias décadas más tarde, Anton van Leeuwenhoek creó el primer microscopio, que permitió a los científicos ver un nuevo mundo de la contaminación del agua potable. Con su invento Leeuwenhoek se convirtió en la primera persona en descubrir los microorganismos en el agua en 1676.

En 1854, el científico John Snow descubrió que la enfermedad del cólera se extendió a través del agua contaminada, un descubrimiento que impactó mucho en el futuro tratamiento del agua y de la desinfección.

Finalmente, él fue capaz de rastrear los brotes de cólera a una bomba de agua particular, que había sido contaminada por aguas residuales crudas. Snow utilizó cloro para matar las bacterias de cólera en el agua, por lo que se estableció la cloración como un proceso de desinfección efectiva.

Su trabajo también revolucionó la teoría generalizada de que un buen color y olor del agua, naturalmente, significaba que era de calidad y segura.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Al principio de los años 1800, los científicos obtuvieron un mayor entendimiento de las fuentes y efectos de los contaminantes del agua, especialmente esos que no eran visibles a simple vista. En el 1855, el epidemiólogo Dr. John Snow comprobó que el cólera era una enfermedad causada por el agua, relacionando una epidemia de enfermedad en Londres a un pozo público que estaba contaminado por las aguas negras. A fines de los 1800, Louis Pasteur demostró la "teoría del microbio", que explicaba cómo estos organismos microscópicos (microbios) podían transmitir enfermedades a través del medio como el agua.

Durante la parte final de los siglos diecinueve y veinte, las inquietudes sobre la calidad del agua continuaron enfocándose mayormente en microbios que causan enfermedades (patógenos). Los científicos descubrieron que la turbidez no era un problema estético solamente, partículas tales como materia fecal, pueden encubrir patógenos. Como resultado todos los diseños de la mayoría de sistemas de tratamiento de agua fabricado en los Estados Unidos durante el principio de los años 1900 fueron propulsados por la necesidad de eliminar la turbidez, y por ende, eliminando los contaminantes de microbios que estaban causando brotes de tifoidea, disentería y cólera.

Mientras la filtración es método de tratamiento bastante efectivo para reducir la turbidez, fueron los desinfectantes como el cloro que jugaron un papel mayor reduciendo el número de brotes de enfermedades al principio de los 1900s. En el 1908 el cloro fue usado por primera vez como desinfectante primordial del agua en Nueva Jersey. El uso de otros desinfectantes tales como el ozono también empezó en Europa, pero no se empleo en los Estados Unidos hasta varias décadas después.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



En los últimos años 1960s, se hizo aparente que los problemas estéticos, patógenos y las sustancias químicas identificadas por el Sistema de Salud Pública no eran los únicos con inquietudes de calidad del agua. Avances agrícolas e industriales y la creación de sustancias químicas fabricadas por el hombre también han tenido impacto negativo en el medio ambiente y en la salud pública. La mayoría de estas sustancias químicas nuevas se estaban entrando en las fuentes de agua a través de vertidos de factorías. Aunque existían técnicas de tratamientos tales como aireación, floculación, y absorción de carbón activado (para extraer contaminantes orgánicos) en aquellos tiempos, no se les daba suficiente uso en los sistemas de agua ó eran ineficaces extrayendo algunos contaminantes nuevos.

Desde que se establecieron a principio de los 1900s, la mayoría de sistemas industriales y urbanos siempre iban provistos de algún tratamiento, según sacan su agua de fuentes de superficie (ríos, lagos y presas) los que son más susceptibles a contaminación. Sistemas más grandes también tienen la base de clientela para proveer los fondos necesarios para instalar y mejorar el equipo de tratamiento. Se ha requerido desinfección adicional para mantener el agua sana hasta que llegue al cliente, ya que los sistemas de distribución se han extendido a servir una población más grande.

Hoy la filtración y el tratamiento con cloro se mantienen como técnica efectiva de tratamiento para proteger las fuentes de agua de microbios peligrosos, aunque avances adicionales en la desinfección se han hecho a través de los años. En los 1970s y los 1980s, se hicieron mejoras en desarrollo de membranas para la filtración de ósmosis inversa y otras técnicas de tratamiento tales como ozonización. Algunos avances en tratamiento han sido causados por el descubrimiento de patógenos en el agua que pueden causar enfermedades tales como hepatitis,



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



gastroenteritis o enfermedad del Legionario. Otros avances surgieron de la necesidad de extraer más y más sustancia química que se encuentran en las fuentes de agua de tomar.

De acuerdo a una encuesta del EPA en el 1995, aproximadamente 64 por ciento del agua de la tierra y de agua de superficie de la comunidad desinfectan su agua con cloro. Casi todos los sistemas de agua de superficie restantes, y algunos de los sistemas de agua de tierra, usan otro tipo de desinfectante tal como el ozono o cloraminas.

Recientemente, los Centros de Prevención y Control de Enfermedades y la Academia Nacional de Ingeniería señalaron al tratamiento del agua como a uno de los avances públicos más significativos del Siglo XX. Más aún, se anticipa que aumentará el número de técnicas de tratamiento y combinaciones de técnicas desarrolladas según se descubren y se regulan contaminantes más complejos.

2.1.3 NECESIDAD DE LA DESINFECCIÓN

Las aguas utilizadas en los procesos productivos retornan contaminadas a los cursos de agua; en la mayoría de los casos se deteriora su calidad para usos posteriores, inclusive la irrigación. Dependiendo del grado de contaminación, el agua residual puede ser nociva para la vida, causando por ejemplo, la mortandad de peces. También puede producirse una liberación de compuestos volátiles que podrían traer problemas en una nueva operación de purificación y tratamiento del agua.

En los países en desarrollo, se estima que el 80% de las enfermedades y más de un tercio de las muertes están asociadas a la utilización y consumo de aguas contaminadas. La hepatitis infecciosa, el cólera, la disentería y la fiebre tifoidea son ejemplos de enfermedades de transmisión hídrica, que representan un serio problema de salud pública.



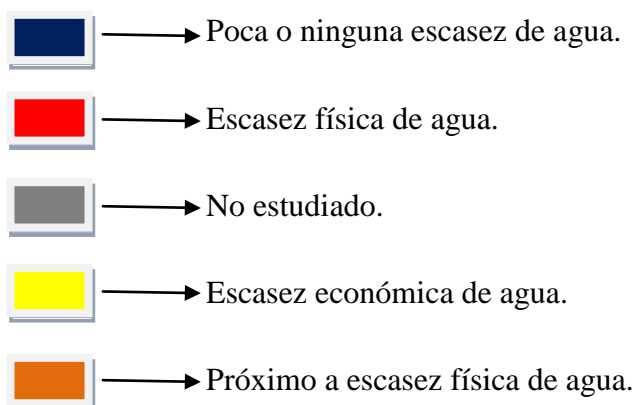
Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



La mayoría de los microorganismos patógenos contenidos en el agua son eliminados en las primeras etapas del tratamiento para la purificación del agua. No obstante, la desinfección del agua es necesaria como uno de los pasos últimos para prevenir que el agua sea dañina para la salud.



Figura 1. Distribución de países sin acceso a agua potable





Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Las enfermedades infecciosas son transmitidas primariamente por la contaminación de las fuentes de agua con deposiciones de animales, las cuales pueden ser agentes muy activos para el transporte de enfermedades. El uso de tales aguas para beber o cocinar, el contacto con la misma durante baños, o la inhalación de pequeñas gotitas (aerosoles) pueden resultar en infecciones.

La desinfección de aguas de abastecimiento se define como el proceso integrante de una estación de tratamiento de agua que tiene como objetivo la inactivación de microorganismos presentes en el medio, minimizando la probabilidad de transmisión hídrica de enfermedades, y el manejo del agua tratada.

2.1.4 CONDICIONES PARA LA DESINFECCIÓN DEL AGUA

La desinfección del agua se debe complementar con otros pasos de purificación del agua. La desinfección del agua solo se debe realizar cuando el agua ya ha sido tratada porque las partículas existentes en el agua pueden afectar a la eficiencia de la desinfección del agua.

La mayoría de los microorganismos se eliminan en los primeros pasos de la purificación del agua. Las partículas en suspensión o disueltas deben eliminarse del agua porque puede reaccionar produciendo subproductos indeseables, además estas sustancias son substratos que favorecen el desarrollo de microorganismos. Los microorganismos son más difíciles de eliminar del agua cuando existen partículas en suspensión y absorción. Por lo tanto, la concentración de partículas en el agua no debe superar 1mg/L para conseguir una desinfección eficiente. Las sustancias químicas presentes en el agua y procedentes tanto de fuentes humanas como antropogénicas pueden influir en el proceso de desinfección generando subproductos indeseados, condicionando la concentración de agente desinfectante necesaria para



que sea efectiva. Esta concentración aumenta y además, también es mucho más duro mantener una concentración residual.

Un tratamiento de aguas residuales adecuado puede hacer que la desinfección del agua sea más eficiente. Cuando no se ha aplicado un tratamiento adecuado de aguas residuales, esto tiene un efecto negativo en las aguas que están afectadas por microorganismos patógenos y contaminantes químicos que pueden acabar en el medio ambiente afectando a la calidad de las aguas superficiales y las aguas para consumo. Es necesario la purificación de las aguas y esencial la desinfección de las mismas.

2.2 TIPOS DE MICROORGANISMOS

Se reconoce que el agua es uno de los principales vehículos transportadores de microorganismos causante de enfermedades provenientes del aparato digestivo del hombre y de otros animales.

Los microorganismos se encuentran generalmente en la naturaleza. No se ven, pero los microorganismos se encuentran presentes en el suelo, el aire, la comida y el agua. Mediante la comida y la bebida los humanos están expuestos a estos microorganismos que son expulsados o permanecen en el cuerpo. La mayoría de estos microorganismos no son dañinos, y por el contrario, participan en procesos vitales como son el metabolismo. Pero ciertos microorganismos son dañinos para la salud.

Los coliformes fecales son un grupo grande de microorganismos, habitantes usuales de los intestinos de los animales superiores. Estos microorganismos son de fácil identificación comparados con los microorganismos patógenos, que



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



normalmente se encuentran en mucho menor número y cuya identificación es laboriosa. La presencia de coliformes en una muestra no siempre indica que el agua está contaminada con microorganismos patógenos, sino que, en términos estadísticos, su concentración puede y debe servir como parámetro para alertar sobre la existencia de contaminación fecal y de microorganismos patógenos.

Los microorganismos patógenos en el agua tienen unas características que los diferencia de los contaminantes químicos, por ejemplo, son organismos vivos que no se disuelven en el agua sino que coagulan o se añejan a sustancias coloidales o sólidos en suspensión que están presentes en el agua.

Los microorganismos patógenos están relacionados con enfermedades específicas de transmisión hídrica. La fiebre tifoidea, las fiebres paratifoideas, la disentería bacteriana y el cólera son causadas por bacterias, la amibiasis o disentería amebiana por protozoarios, la esquistosomosis por gusanos (helminths) y larvas, en tanto que ciertos virus originan la hepatitis infecciosa y la poliomielitis.

Los microorganismos patógenos en el agua se pueden dividir en tres categorías: bacterias, virus y protozoos parásitos. Las bacterias y virus se pueden encontrar tanto en las aguas subterráneas como en las aguas superficiales, mientras los protozoos son comunes de las aguas superficiales. Hay un gran número de contaminantes del agua que se pueden clasificar de muy diferentes maneras. Una posibilidad bastante usada es agruparlos en los siguientes grupos:

2.2.1 Bacterias

Bacterias son organismos de una sola célula. Su forma puede ser esférica, espiral, etc. Pueden existir como organismos individuales, formando cadenas, grupos o pares. Las bacterias son las formas de vida más abundantes en la tierra. Tienen una



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



longitud entre 0,4 y 14 μm y sobre 0,2 a 12 μm de ancho. Consecuentemente solo se pueden ver mediante microscopio. Las bacterias se reproducen mediante la replicación del ADN, y división en dos células independientes. En circunstancias normales este proceso dura entre 15 y 30 minutos.

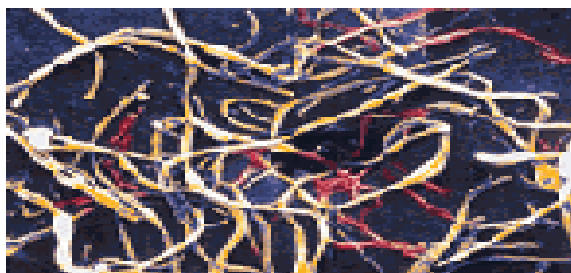


Figura 2. Fotografía de E. Coli Bacteria

Algunas bacterias pueden formar esporas. Estas esporas se caracterizan por presentar una capa protectora resistente al calor y que protege la bacteria de la falta de humedad y comida.

Las bacterias tienen un papel funcional ecológico específico. Por ejemplo, algunas se encargan de la degradación de la materia orgánica, otras bacterias forman parte del metabolismo del hombre.

2.2.2 Virus

Virus son organismos que pueden causar infecciones y que sólo se reproducen en células huésped. Los virus fuera de células huésped están en forma



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



inactiva. Los virus se caracterizan por presentar una capa protectora. Su forma puede ser espiral, esférica o como células pequeñas, de tamaño entre 0.02 y 0.009 μm . Al tener un tamaño menor que las bacterias, pueden pasar filtros que permiten la retención de bacterias.

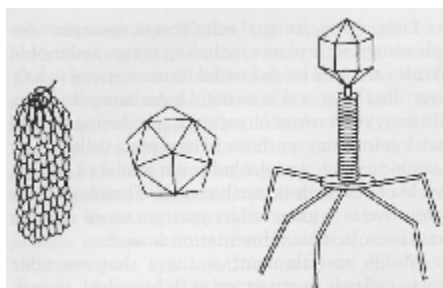


Figura 3. Tres tipos diferentes de virus

Al contrario que las bacterias y protozoos parásitos, los virus contienen un solo tipo de ácido nucleico (ARN o ADN). No se pueden reproducir por sí solas, sino que necesitan el metabolismo de la célula huésped para asegurar que el ADN se copia en la célula huésped, para su reproducción.

Al contrario que las bacterias, los virus no están presentes en el ser humano de manera natural. Cuando las personas quedan afectadas por un virus, estos generalmente se eliminan del cuerpo humano mediante secreciones.



2.2.3 Parásitos protozoos

Parásitos protozoos son organismos unicelulares. Estos se caracterizan por presentar un metabolismo complejo. Se alimentan a base de nutrientes sólidos, algas y bacterias presentes en organismos multicelulares, como los humanos y animales.

Se encuentran frecuentemente en forma de quistes o huevos. Por ejemplo, los huevos de *Cryptosporidium* y quistes de *Giardia* son comunes en aguas afectadas por contaminación fecal. En forma de quistes los patógenos son resistentes a la desinfección por cloro. Los parásitos protozoos se eliminan mediante la filtración y aplicación de dióxido de cloro.



Figura 4. Fotografía del protozoo tipo ameba



2.3. EFECTOS CAUSADOS POR LOS MICROORGANISMOS.

2.3.1 ENFERMEDADES

Se considera un agua microbiológicamente segura a la que está libre de todo microorganismo patógeno (o capaz de causar enfermedades) y de bacterias características de la contaminación fecal.

El término microbio o microorganismo designa a organismos tan diminutos que no pueden observarse a simple vista. Las enfermedades transmitidas por el agua son básicamente función de la calidad de la misma.

Las enfermedades de origen hídrico se diseminan por la contaminación de los sistemas de agua potable, con la orina y las heces de animales o personas infectadas, las lixiviaciones de rellenos sanitarios, pozos sépticos, tubos de alcantarilla de nivel industrial o doméstico, pueden ocasionalmente contaminar las aguas de superficie.

En esta categoría se encuentran:

- **La fiebre tifoidea:**

Es una enfermedad infecciosa aguda producida por el bacilo *Salmonella typhi*. Se contagia por la leche, el agua o los alimentos contaminados por las heces de enfermos o portadores. Los portadores son personas sanas que sufren una infección asintomático y excretan periódicamente el bacilo. El esquema de transmisión epidemiológica se puede simplificar con las siglas DAME (dedos, alimentos, moscas y excretas). Los organismos llegan al intestino y salen de él para llegar a los ganglios linfáticos mesentéricos, de ahí pueden desplazarse al estómago, al hígado, o bien,



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



seguir por la sangre originando graves daños en el bazo o cerebro. Los síntomas que posee esta enfermedad son: dolor de cabeza, escalofrío, insomnio, decaimiento, aumento gradual de la temperatura.

- **Cólera:**

Es una grave enfermedad infecciosa endémica de India y en ciertos países tropicales, aunque pueden aparecer brotes en países de clima templado. Los síntomas del cólera son la diarrea y la pérdida de líquidos y sales minerales en las heces. En los casos graves hay una diarrea muy importante, con heces características en “agua arroz”, vomito, sed intensa, calambres musculares y, en ocasiones, fallo circulatorio. En estos casos el paciente puede fallecer a las pocas horas del comienzo de los síntomas. Dejada a su evolución natural, la mortalidad es superior al 50%, pero no llega al 1% con el tratamiento adecuado.

El organismo responsable de la enfermedad es el *Vibrio Cholerae*, una bacteria descubierta en 1883 por el médico y bacteriólogo alemán Robert Koch. La única forma de contagio es a través del agua y los alimentos contaminados por heces (en las que se encuentra la bacteria) de enfermos de cólera. Por tanto, las medidas de control sanitario son las únicas eficaces en la prevención de la enfermedad. Durante el siglo XIX las epidemias de cólera se diseminaron por Europa y EEUU, hasta que mejoraron los sistemas de distribución de agua potable y alcantarillado.

En muchos países asiáticos, el control del cólera sigue siendo un importante problema sanitario. La Organización Mundial de la Salud (OMS) calcula que el 78% de la población de los países en vías de desarrollo carece de agua con suficientes garantías de potabilidad, y el 85% no dispone de un sistema de tratamiento de aguas residuales. Las epidemias más recientes tuvieron lugar en Calcuta (India) en 1953; en Vietnam del sur entre 1964 y 1967; entre los refugiados del Bangla Desh que



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



emigraron a India en la guerra civil de 1971; y en Perú en 1991. En la epidemia del 1971 fallecieron 6500 personas.

El tratamiento consiste en la reposición oral o intravenosa de líquidos y sales minerales (rehidratación). Hay preparados para diluir con la composición adecuada de sodio, potasio, cloro, bicarbonato y glucosa, disponibles en muchos lugares del mundo gracias a la campaña de difusión realizada por la OMS. Casi todos los pacientes se recuperaron entre los tres y los seis días.

Algunos estudios experimentales han demostrado que la bacteria del cólera produce una toxina que estimula la secreción de líquido por el intestino delgado. Esta toxina es la causa de la gran pérdida de líquidos que se producen en el cólera. La búsqueda de una vacuna más eficaz sigue dos líneas de investigación diferentes: utilizar una toxina inactivada, o utilizar una vacuna de bacterias vivas atenuadas incapaces de producir toxina.

- **Disentería amebiana:**

Causada por el parásito (ameba) *Entamoeba Histolytica* es endémica en muchos países tropicales, y es debida a la falta de condiciones higiénicas, al clima o al calor. Es el tipo de disentería más frecuente en Filipinas, Indonesia y el Caribe, y se puede dar en algunos países de clima templado.

La disentería amebiana se trasmite por el agua, por los alimentos frescos contaminados y por los portadores humanos sanos. Las moscas pueden transportar los quistes de ameba desde las heces de los enfermos hasta los alimentos. Cuando la enfermedad se hace crónica las amebas traspasan la pared intestinal y colonizan el hígado, formando abscesos hepáticos. En raras ocasiones se forman abscesos amebianos en otras localizaciones. Si se deja evolucionar, puede llegar a producir la muerte.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



- **Disentería bacilar**

Esta producida por alguna especie no móviles de bacterias del genero Shigella. Esta forma de disentería también es más frecuente en las regiones tropicales del planeta con higiene deficiente, pero, como es más contagiosa, se producen brotes epidémicos en todo el mundo. Se trata de una diarrea autolimitada que rara vez sobrepasa la afectación intestinal; no obstante, la enfermedad es grave, especialmente en niños y ancianos. La disentería bacilar se propaga por la contaminación del agua y los alimentos. Las heces de los enfermos y de los portadores sanos contienen grandes cantidades de bacterias. Las moscas transportan las bacterias en sus patas, en sus salivas y en sus heces, y las depositan en los alimentos; al parecer las hormigas también pueden transmitir la enfermedad.

Para el tratamiento de la disentería bacilar es fundamental la correcta reposición del agua y electrolitos. Como antibióticos se pueden utilizar las sulfamidas, las tetraciclinas y la estreptomycinina.

- **Gastritis**

Las causas de esta enfermedad son la ingestión de alimentos en malas condiciones o contaminadas con sustancias tóxicas o con organismos patógenos. Esta enfermedad lo que produce es una inflamación de las mucosas gástricas. Los síntomas que posee son diarrea, dolor estomacal, falta de apetito, náusea, vómito, agruras, pirosis (elevación de la temperatura)



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



- **Gastroenteritis**

Las causas de esta enfermedad son infecciones por ingerir alimentos contaminados por bacterias, virus, hongos o sustancias tóxicas, como plomo, arsénico o hierro. La gastroenteritis consiste en la inflamación de la mucosa intestinal (enteritis) o de ésta y la del estómago (gastroenteritis). Los síntomas de esta enfermedad son decaimiento, inapetencia, náusea, vómito, diarrea, dolores abdominales, fiebre y malestar general.

- ❖ **Enfermedades transmitidas por contacto con el agua:**

Son producidas por microorganismos patógenos que ingresan al cuerpo humano a través de la piel. El ejemplo más conocido es el de la esquistosomiasis (bicharziasis). Se calcula que en el mundo existen 200 millones de personas afectadas por esta enfermedad epidémica que quizás sea una de las más antiguas del planeta a juzgar por el hallazgo de huevos (o quistes) del agente causal en las momias egipcias. Estos huevos eclosionan en el agua, produciendo larvas que parasitan ciertas especies de caracoles. Los caracoles infectados liberan formas microscópicas móviles que penetran en la piel humana y se desarrollan hasta llegar al estado de gusanos. Estos pueden alcanzar unos 2,5 cm de longitud y se alojan en varios tejidos del cuerpo humano ocasionando grandes daños cuando sus huevos se abren camino hacia el tracto intestinal o urinario.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



*Tabla 1. Clasificación de Bacterias más importantes en el agua y
sintomatología*

Bacterias	Fuente	Periodo de Incubación	Duración	Sintomas Clínicos
Salmonella typhi	Heces, Orina	7-28 días (14)	5 - 7 días	Fiebre, tos, náusea, dolor de cabeza, vómito, diarrea
Salmonella sp	Heces	8-48 horas	3 - 5 días	Diarrea acuosa con sangre
Shigellae sp.	Heces	1 - 7 días	4 - 7 días	Disentería (diarrea con sangre), fiebres altas, síntomas tóxicos, retortijones, pujos intensos e incluso convulsiones
Vibrio Cholerae	Heces	9 - 72 horas	3 - 4 días	Diarrea Acuosa, vómito, deshidratación
V. Cholerae No.-01	Heces	1 - 5 días	3 - 4 días	Diarrea Acuosa
Eschericha Coli enterohemorrágica O157:H7	Heces	3 - 9 días	1 - 9 días	Diarrea Acuosa con sangre y moco, dolor abdominal agudo, vómitos, no hay fiebre
Eschericha Coli enteroinvasiva	Heces	8 - 24 horas	1 - 2 semanas	Diarrea Acuosa con sangre y moco, dolor abdominal, a veces las heces son mucosas y con sangre
Eschericha Coli enterotoxigena	Heces	5 - 48 horas	3 - 19 días	Dolores abdominales, diarrea acuosa, fiebre con escalofríos, náusea, mialgia
Yersinia enterocolitica	Heces, orina	1 - 11 días (24 - 48 horas)	1 - 21 días (9)	Dolor Abdominal, diarrea con moco, sangre, fiebre, vómito
Campylobacter jejuni	Heces	2 - 5 días (42 - 72 horas)	7 - 10 días	Diarrea, dolores abdominales, fiebre y algunas veces heces fecales con sangre, dolor de cabeza
Plesiomonas Jugelloides	Heces	20 - 24 horas	1 - 2 días	Fiebre, escalofríos, dolor abdominal, náusea, diarrea o vómito
Aeromonas sp.	Heces	Desconocido	1 - 7 días	Diarrea, dolor abdominal, náuseas, dolor de cabeza y colitis, las heces son acuosas y no son sanguinolentas



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Tabla 2. Virus más importantes transmitidos por el agua y sintomatología

Virus	Fuente	Periodo de Incubación	Duración	Síntomas Clínicos
Enterovirus (Poliovirus 1,2,3. Coxsackie A y B. Echovirus)	Heces	3 – 14 días (5 – 10)	Variable	Gastrointestinales (vómitos, diarrea, dolor abdominal y hepatitis) encefalitis, enfermedades respiratorias, meningitis, hiperangina, conjuntivitis
Astrovirus	Heces	1 – 4 días	2 – 3 días	Nausea, vómito, diarrea, dolor abdominal, fiebre
Virus de la Hepatitis A (VHA)	Heces	15 – 50 días (25 – 30)	1 – 2 semanas, hasta meses	Cansancio, debilidad muscular, síntomas gastrointestinales como pérdida de apetito, diarrea y vomito, o síntomas parecidos a la gripe, como dolor de cabeza, escalofríos y fiebre, sin embargo, los síntomas más llamativos de esta enfermedad son la ictericia, es decir, el cambio que se produce en el color de ojos y la piel hacia un tono amarillo (a veces intenso), las heces pálidas y la coloración intensa de la orina. A diferencia de los adultos, en niños se presentan signos más atípicos y síntomas gastrointestinales como náusea, vómito dolores abdominales y diarrea
Virus de la Hepatitis E (VHE)	Heces	15 – 65 días (35 – 40)	Similar a lo descrito para el VHA	Similar a lo descrito para el VHA
Rotavirus (Grupo A)	Heces	1 – 3 días	5 – 7 días	Grastroenteritis con náusea y vómito
Rotavirus (Grupo B)	Heces	2 – 3 días	3 – 7 días	Grastroenteritis
Calicivirus	Heces	1 – 3 días	1 – 3 días	Grastroenteritis
Virus Norwalk-like	Heces	1 – 2 días	1 – 4 días	Diarrea, náuseas, vómito, dolor abdominal, dolor de cabeza



**Desinfección de agua de torres de refrigeración
con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM**



*Tabla 3. Protozoos más importantes transmitidos por el agua y
síntomatología*

Parásito	Fuente	Periodo de Incubación	Duración	Síntomas Clínicos
Giardia Lambia	Heces	5 – 25 días	Meses – Años	Puede ser asintomático (hasta un 50%) o provocar una diarrea leve. También puede ser responsable de diarreas crónicas con mala absorción y distensión abdominal
Cryptosporidium Parvum	Heces	1 – 2 semanas	4 – 21 días	Provoca diarrea acuosa, con dolor abdominal y pérdida de peso. Es un cuadro grave en un huésped comprometido y una infección oportunista en otros pacientes
Etamoeba histolytica/Amebiasis	Heces	2 – 4 semanas	Semanas - meses	Dolor abdominal, estreñimiento, diarrea con moco y sangre
Cyclospora var. Cayetanensis	Heces (oocistes)	3 – 7 días	Semanas - meses	Diarrea acuosa con frecuentes deposiciones, náuseas, anorexia, dolor abdominal, fatiga, pérdida de peso, dolores musculares, meteorismo y escasa fiebre.
Balantidium coli	Heces	Desconocido	Desconocido	Dolor Abdominal, diarrea con moco y sangre, pujo y tenesmo



2.3.2 PROBLEMAS MICROBIOLÓGICOS EN LA INDUSTRIA

❖ FOULING

El “Fouling” puede ser definido como la acumulación de suciedad, productos de corrosión u otros productos en las paredes de tuberías e intercambiadores de calor principalmente.

La presencia de esta capa de suciedad puede tener dos efectos principales:

- La presencia de esta capa de suciedad supone una capa de resistencia extra para la transferencia de calor debido al diseño inherente del intercambiador.
- La reducción de la sección de paso debido a los depósitos acumulados incrementa la presión a través del intercambiador o tubería en cuestión.

Estas dos consecuencias pueden representar un requerimiento extra de energía. La pérdida de eficiencia en la transferencia de calor significa normalmente que en algún lugar del sistema se requiere más energía para compensar la pérdida de la anterior.

El incremento de presión representa un incremento de los costes de bombeo del fluido, debido a la necesidad de un aumento de la electricidad y por consiguiente en el precio.

Hay otros dos efectos que normalmente no son atribuidos al “Fouling”, pero que tienen que ver directamente con él, como son la corrosión y el mantenimiento adicional.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



La presencia de la capa de suciedad en la pared del equipo puede en algunos casos proteger la pared de metal de los efectos de la corrosión, pero más a menudo mejora la corrosión. Por ejemplo, si la resistencia a la corrosión de un metal depende de la presencia de una capa de metal, la acumulación de suciedad puede impedir la formación de óxido.

La necesidad de un mantenimiento adicional como resultado del “Fouling” se puede manifestar de diferentes formas. En general un “Fouling” extenso significará que los equipos tienen que ser limpiados regularmente para restaurar la eficiencia perdida.

La frecuencia de la limpieza depende naturalmente de la severidad del problema del “Fouling”. La limpieza implica desmontar rápidamente los equipos y volverlos a ensamblar lo que repercute negativamente en la vida de los equipos, además supone en el caso de una industria que se tenga que parar su producción.

Está claro que este problema supone dinero, y en algunos casos el coste es extremadamente alto. En la figura 11 se muestra el problema del Fouling.

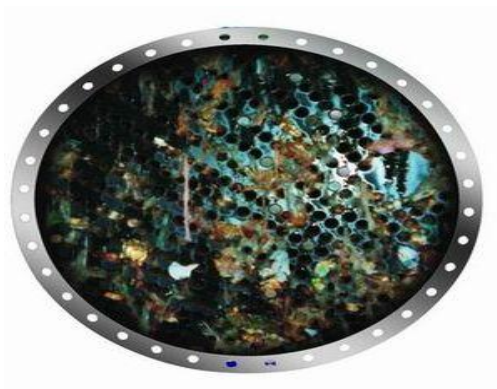


Figura 11. Fouling en una tubería



▪ TIPOS DE FOULING

Hay diferentes mecanismos básicos por los que los depósitos de fouling pueden ser creados y dependen a su vez de diferentes variables que se explican a continuación.

- **FOULING DE SEDIMENTACIÓN**

Muchas corrientes y especialmente las que se utilizan como corrientes de refrigeración contienen sólidos suspendidos que pueden situarse en las paredes de las tuberías o de los intercambiadores de calor. Así, normalmente los depósitos formados no se adhieren fuertemente a la superficie de contacto. Esta sedimentación está fuertemente afectada por la velocidad y no tanto por la temperatura.

- **FOULING DE SOLUBILIDAD INVERSA**

Ciertas sales que se encuentran en aguas templadas son menos solubles que las que se encuentran en aguas más frías. Si la corriente de agua encuentra una pared con una temperatura que corresponde con la de saturación de la sal disuelta, entonces la sal cristalizará en la pared. La cristalización comenzará en unos puntos activos llamados “lugares de nucleación” e irán cubriendo toda la pared.

- **REACCIONES QUÍMICAS**

Una fuente común de fouling en los procesos son las reacciones químicas que dan como resultado un producto sólido en o cerca de la superficie. Por ejemplo, un proceso de transferencia de calor puede causar degradación térmica de uno de los componentes de la corriente de agua.



- **PRODUCTO DE CORROSIÓN**

Si una corriente corroe el metal, los productos de corrosión pueden ser esenciales para proteger el metal de futuras corrosiones, en ese caso, cualquier intento de limpiar la pared sólo afecta de una manera y es acelerando el proceso de corrosión.

- **FOULING BIOLÓGICO**

Muchas corrientes de proceso pueden contener microorganismos que se adhieran a superficies sólidas y crezcan. Incluso cuando la capa formada es muy fina el efecto perjudicial es inmenso debido a la gran resistencia que ofrecen a la limpieza.

- **PROCESOS COMBINADOS**

La mayoría de los procesos de fouling ocurren combinados. Un ejemplo claro es la combinación de sedimentación y solubilidad inversa en torres de refrigeración. La gran mayoría de las fuentes de agua contienen ambos sedimentos y carbonato cálcico, y sus concentraciones aumentan a medida que el agua es recirculada a través del sistema de refrigeración. Además es común encontrar depósitos compuestos de cristales de solubilidad inversa junto con depósitos finamente divididos de sedimentos.

- **ELIMINACIÓN FOULING**

Si el fouling no puede evitarse por medio de mecanismos de prevención es necesario eliminarlo. La aplicación de técnicas químicas de limpieza es un arte especial que debería ser supervisado por especialistas. Sin embargo desde que la



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



limpieza química ha evitado el desmontaje de equipos y tuberías se ha convertido en la principal técnica de limpieza.

Hay multitud de técnicas físicas de eliminación de fouling entre las cuales se encuentra el raspado de las paredes. Este raspado está limitado por la capacidad de la herramienta empleada.

Pero sin duda el método más común para la eliminación del fouling es el empleo de métodos químicos mediante el uso de biocidas. Cloro, bromo y ozono son los tres oxidantes químicos más utilizados en la industria. Los biocidas no oxidantes se ha demostrado que son más efectivos para el control de algas y bacterias además de ser la mayoría independientes del pH. La combinación de dos biocidas no oxidantes o uno oxidante y otro no oxidante es la combinación más utilizada hoy en día para el control microbiológico en las aguas industriales. Sin embargo los crecientes requerimientos legislativos y la aceptación medioambiental han desestimado el uso de los biocidas tradicionales.

❖ MIC

El MIC es un acrónimo de “corrosión influenciada por los microorganismos” y que es un modo de corrosión que incorpora microbios que reaccionan y causan la corrosión o influyen en otros procesos de corrosión de componentes metálicos.

MIC es causado por bacterias en combinación de otros cuatro variables medioambientales, tales como metales, nutrientes, agua y oxígeno. Esas bacterias se encuentran en el ambiente y en los materiales de la tubería. Cuando se dan todos los condicionantes ambientales anteriores empiezan a crecer las bacterias. En la figura 12 se muestra un claro ejemplo de ello.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Figura 12. Problemas de MIC en una tubería

Los tipos de bacteria predominante en el MIC son:

- Bacteria reductora de Sulfatos (SRB): bacteria que convierte los iones sulfatos en sulfuros. Esta bacteria puede crecer en ambientes con poco oxígeno.
- Bacterias relacionadas con el Hierro (IRB): bacteria que convierte los iones Fe^{2+} en Fe^{3+} . El ión Fe^{3+} es depositado sobre las paredes de las tuberías del sistema, creando depósitos donde pueden crecer otras bacterias.
- Bacterias de bajos nutrientes (LNB): son bacterias que pueden crecer en ambientes como agua potable en condiciones de escasez de nutrientes.
- Bacterias anaeróbicas: son bacterias que pueden vivir en condiciones de escasez de oxígeno. Pueden crecer incluso en ambientes donde el oxígeno no llega a las 50 ppm.
- Bacterias aeróbicas: son bacterias que crecen en ambientes con oxígeno libre.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Es importante entender la ecuación estequiométrica de corrosión y las reacciones electroquímicas relacionadas para comprender el proceso de la corrosión.

La corrosión es un proceso químico que consiste en la transferencia de iones positivos o negativos para cambiar el estado de oxidación de una especie y por consiguiente la estructura interna de un material.

▪ DETECCIÓN MIC

El personal de mantenimiento puede sospechar de la presencia de MIC por pequeños agujeros en las tuberías, existencia de muchos desechos, cloración u olor del agua, e incluso la aparición de tubérculos cuando se drena el agua para la inspección de las tuberías.

El método menos intrusivo para determinar si las bacterias asociadas al MIC es analizar el agua para cada uno de los tipos de bacteria. De todos modos uno de los métodos más utilizados consiste en coger muestras de la tubería y analizarla por un experto ingeniero metalúrgico. Este último método tiene una ventaja añadida y es que se puede encontrar otro tipo de corrosión al analizar la muestra, diferente de la que se buscaba inicialmente. De este modo y determinando la concentración de las bacterias en la tubería se puede conocer el daño provocado en la tubería.

▪ ELIMINACION MIC

La inhibición de la corrosión es un proceso químico que consiste en disminuir la corrosión por medio de la adición de sustancias que añadidas en pequeñas cantidades decrece el ataque del ambiente sobre los metales.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Los microorganismos pueden cambiar drásticamente las propiedades electroquímicas del metal y la interfase solución-metal. Los microorganismos pueden contribuir a la inhibición de la corrosión por medio de diferentes mecanismos:

- Neutralizando las sustancias corrosivas que hay en el ambiente.
- Formando películas protectoras
- Estabilizando películas protectoras del metal

La inhibición microbiológica de la corrosión rara vez está ligada a un proceso o a una sola especie de microorganismo

El principal mecanismo de inhibición de corrosión de las bacterias está siempre ligado a la modificación notable de las condiciones ambientales en la interfase metal-solución debido a la actividad biológica.

❖ **LEGIONELA**

La legionella es un género de bacterias del que se han identificado hasta la fecha 40 especies, entre las que cabe destacar a la *Legionella pneumophila*, por ser la causante del 85 % aproximadamente de las infecciones por legionela.

Esta bacteria se halla ampliamente extendida en ambientes acuáticos naturales (ríos, lagos, aguas termales, etc.), encontrándose en ellos en pequeñas concentraciones, pudiendo sobrevivir en condiciones ambientales muy diversas. Para que su concentración aumente, entrañando riesgo para las personas, debe pasar a colonizar, fundamentalmente a través de las redes de distribución de agua potable, sistemas hídricos contruidos por el hombre, como torres de refrigeración y sistemas



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



de distribución de agua sanitaria, donde encuentra condiciones de temperatura idóneas para su multiplicación ($25 - 45^\circ\text{C}$), protección física y nutrientes apropiados

A partir de estas instalaciones la legionella puede infectar a las personas si el agua es pulverizada en forma de aerosoles, de manera que la bacteria pueda ser transportada por el aire en pequeñas gotas e inhalada por las personas. Es decir, la vía de transmisión de la legionella es aérea y no se ha demostrado que exista riesgo alguno de enfermar al beber agua contaminada por legionella.

En consecuencia, serán instalaciones de riesgo en relación con la legionella, todas aquéllas que procurando condiciones de crecimiento adecuado para ésta (fundamentalmente agua estancada o retenida a temperatura de $25-45^\circ\text{C}$ y especialmente en presencia de suciedad) produzcan aerosoles que puedan ser inhalados por personas: torres de refrigeración, condensadores evaporativos, aparatos de enfriamiento evaporativo, humectadores, sistemas de distribución de agua caliente sanitaria, baños de burbujas, etc

▪ **TORRES DE REFRIGERACIÓN**

En los sistemas de climatización modernos y en ciertos procesos industriales se genera gran cantidad de calor que hay que disipar al ambiente, haciéndose necesario el empleo de agua para la refrigeración del sistema. Sin embargo, supondría graves pérdidas desechar el agua calentada. Una alternativa que permite ahorrar agua y reducir los costes económicos consiste en enfriar el agua mediante una torre de refrigeración y devolverla de nuevo al circuito. Las torres de refrigeración son, por lo tanto, dispositivos cuya función es la de enfriar agua.

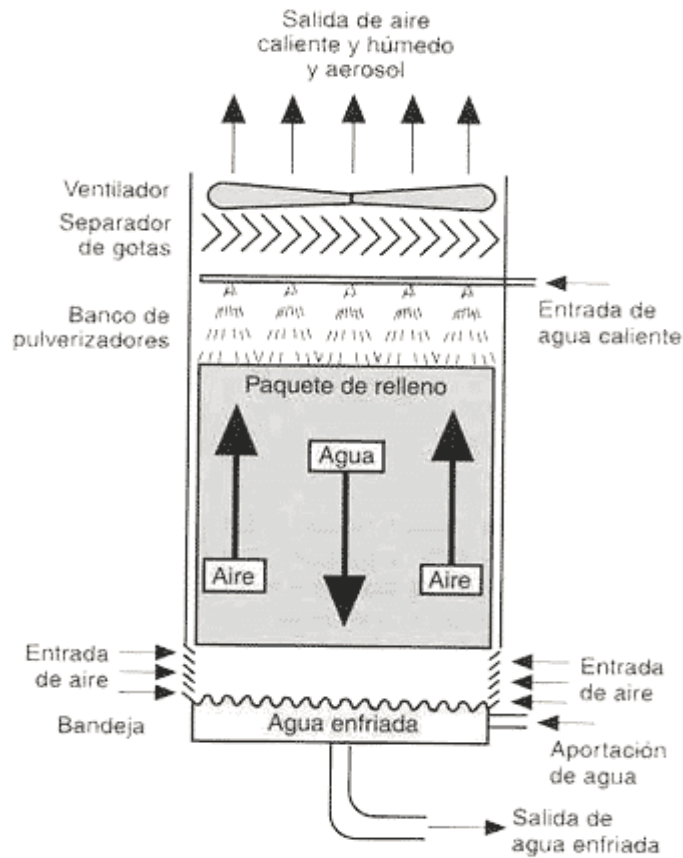


Figura 13. Esquema de una torre de refrigeración

▪ CONDENSADORES EVAPORATIVOS

Los condensadores evaporativos son similares en estructura y función a las torres de refrigeración. En este caso el agua pulverizada cae directamente sobre un serpentín de tubo liso que contiene fluido refrigerante. La evaporación del agua que



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



provoca la corriente de aire que asciende produce el enfriamiento de ésta y, en consecuencia, el enfriamiento del fluido refrigerante.

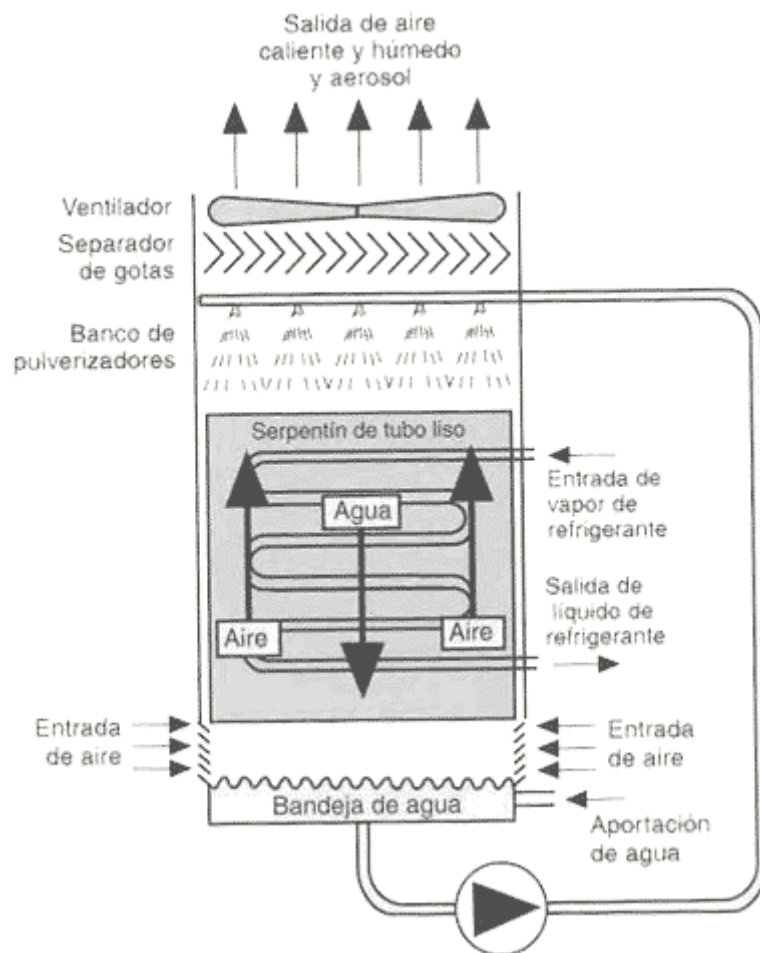


Figura 14. Esquema de un condensador evaporativo



- **APARATOS DE ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO Y HUMECTADORES.**

Los aparatos de enfriamiento evaporativo son dispositivos para enfriar el aire exterior que se envía a los locales que se pretende acondicionar, siendo su uso frecuente en países de clima caluroso y seco.

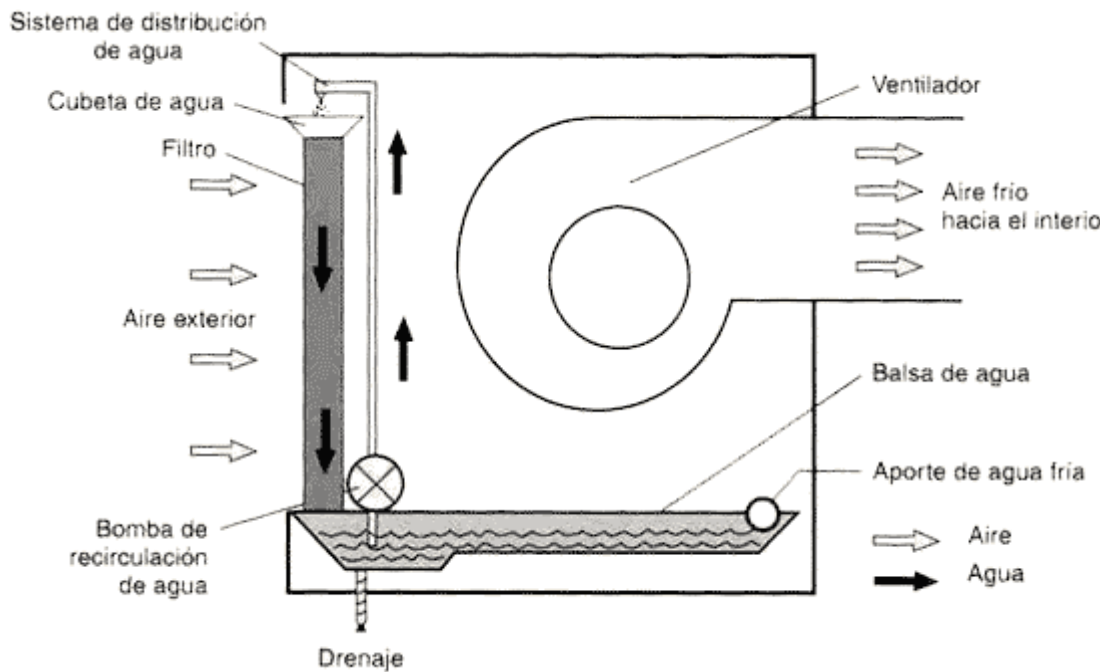


Figura 15. Esquema de un humectador

Los humectadores son aparatos que sirven para mantener la humedad relativa de los locales dentro de ciertos límites para el bienestar de las personas o por necesidad de un proceso industrial.



➤ MULTIPLICACIÓN DE LA LEGIONELLA EN ESTOS DISPOSITIVOS

▪ TORRES DE REFRIGERACIÓN

El agua de las torres de refrigeración constituye un medio muy apropiado para la multiplicación de la legionella. El factor favorecedor más importante de esta multiplicación es la temperatura. El agua en los circuitos de las torres de refrigeración sobrepasa habitualmente los 20 °C, y durante los meses de verano supera sin dificultad los 30 °C, temperaturas idóneas para el crecimiento de la legionella.

Otro factor que favorece la persistencia y multiplicación de la legionella en las torres de refrigeración es la posibilidad de que se formen biopelículas en la gran diversidad de superficies internas de la instalación. Cuando existe escasez de nutrientes, estas biopelículas constituyen nichos ecológicos que permiten a los microorganismos compartir dichos nutrientes y protegerse de posibles agresiones químicas.

Otros factores que se han relacionado con la multiplicación de legionella en estas instalaciones son:

- El estancamiento del agua que se produce en la bandeja de las torres de refrigeración o, si existen, en los depósitos intermedios
- Los productos de la corrosión de los materiales, especialmente si éstos no son específicamente resistentes frente a aquélla.
- Las incrustaciones frecuentes en los circuitos.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



En resumidas cuentas, los factores primordiales a tener en cuenta, favorecedores de la multiplicación de la legionella en el agua de las torres de refrigeración, son los siguientes:

- ALTAS TEMPERATURAS, especialmente en los meses estivales.
- SUCIEDAD, que garantiza la presencia de otros microorganismos (bacterias y protozoos) necesarios para la multiplicación de la legionella y de los nutrientes apropiados
- MATERIALES INADECUADOS, como madera y otros a base de celulosa.
- CORROSIÓN E INCRUSTACIONES, debidas a un mantenimiento incorrecto de la instalación y que contribuyen a la multiplicación de la legionella a través del aporte de nutrientes (hierro, fosfatos, etc.) y favorecen el acantonamiento de la bacteria, con lo que disminuye la eficacia de las tareas de limpieza y desinfección.

▪ APARATOS ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO

En términos generales estos aparatos entrañan menos riesgo de multiplicación de la legionella debido a que trabajan con agua a menor temperatura que las torres de refrigeración. Sin embargo, las **altas temperaturas ambientales** que se alcanzan en nuestro entorno durante los meses estivales, cuando entran precisamente en funcionamiento estos aparatos, situados a la intemperie, pueden calentar el agua, lo suficiente como para permitir la multiplicación de la legionella.

Como en el caso de las torres de refrigeración estos aparatos pueden ensuciarse fácilmente con la materia transportada por el aire (polvo, humo,



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



microorganismos, etc.), siendo así la **suciedad**, junto con la temperatura, otro factor de riesgo a tener en cuenta en este caso.

▪ HUMECTADORES

Como en el caso anterior, la **temperatura** del agua de la instalación, especialmente en la bandeja o depósito, así como la **suciedad**, serán los factores determinantes a tener en cuenta, siendo por lo tanto de mayor riesgo aquellos aparatos expuestos a altas temperaturas ambientales y a la suciedad de la intemperie.

El empleo del cloro, como desinfectante de estas instalaciones, está abundantemente extendido en el mundo por ser un producto eficaz, de fácil medición y económico. Además, este tratamiento puede ser realizado por el propio titular de la instalación. El principal inconveniente radica en su acción corrosiva. A dosis superiores a 2 ppm el cloro puede incrementar la corrosión en el sistema, por lo que no conviene superar esa dosis. Para que el cloro no pierda eficacia como desinfectante el agua tratada debe estar a un pH menor de 8.

La adición de los desinfectantes se hará de tal forma que se consigan en todo momento las concentraciones recomendadas por el fabricante.

Existen procedimientos rudimentarios como son la dosificación del desinfectante por pastillas de disolución lenta o incluso el aporte manual del desinfectante. Lógicamente, este último procedimiento no debe utilizarse cuando se requieran niveles constantes del desinfectante en el agua. Los dispositivos semiautomáticos son aquellos que adicionan el desinfectante mediante una bomba (conocida como clorador) a una determinada velocidad contada en impulsos, pasos, etc. Los sistemas de dosificación más avanzados son aquellos que incluyen además de la bomba, una sonda de medición en continuo que regula automáticamente la dosificación del desinfectante.



En función de las características de cada instalación puede ser recomendable o incluso necesaria la utilización de otros productos químicos. Por ello, además de los desinfectantes, pueden utilizarse productos cuya función es la de actuar como desincrustantes, anticorrosivos, antioxidantes, biodispersantes, etc., si bien antes de su utilización se debe de valorar que se trate de productos químicos todos ellos compatibles entre sí.

2.4 DESINFECTANTES DEL AGUA

2.4.1 DESINFECTANTES FÍSICOS

Los principales desinfectantes físicos se dividen en:

- **LUZ ULTRAVIOLETA:**

La luz ultravioleta (longitud de onda correspondiente a la máxima acción microbicida = 254 nm) mata las bacterias. Sin embargo, la profundidad de penetración de esta radiación en el agua es limitada, lo que se traduce en que si se requiere eficiencia en la eliminación de microorganismos por rayos ultravioleta, se deben irradiar solo láminas delgadas de agua.

Su aplicación sólo se reduce a aguas claras y no contaminadas. Como cualquier proceso, la desinfección con rayos ultravioleta presenta ventajas y desventajas. Entre las ventajas se pueden citar las siguientes:

- a) Actúa sobre una amplia gama de microorganismos, ya que los rayos ultravioleta inactivan los ácidos nucleicos (ADN y ARN). Pueden eliminar bacterias comunes, esporulados y virus.
- b) No reacciona con los constituyentes del agua y, por tanto, no forma derivados ni cambia las condiciones organolépticas del agua.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



- c) El proceso es sencillo y de bajo costo.
- d) El proceso no necesita tanques de mezcla o de contacto.

Entre las desventajas pueden mencionarse las siguientes:

- a) La penetración de los rayos en el agua está limitada por el color y la turbiedad, por lo que el agua debe ser completamente clara.
- b) Con el transcurso del tiempo, las lámparas pueden ensuciarse, lo que reducirá la capacidad de penetración de los rayos.
- c) La vida útil de las lámparas es muy limitada.
- d) Los rayos ultravioleta tienen efecto puntual, no dejan radiación residual para eliminar la contaminación posterior en la red, muy frecuente ya que a menudo se producen presiones negativas que pueden permitir el ingreso de aguas contaminadas.

▪ **CALOR**

Debido a la gran sensibilidad de los microorganismos a las temperaturas altas, la ebullición del agua es muy efectiva para su eliminación.

El hervido del agua es una práctica segura y recomendable, cuando existen dudas sobre la calidad del agua potable. El método más simple para preparar agua, segura desde el punto de vista microbiológico, es hervirla durante unos minutos y luego almacenarla adecuadamente.

Algunos investigadores, recomiendan que el tiempo de hervido esté comprendido entre 2 a 5 minutos a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, tiempo en el que estiman que se eliminan todo tipo de bacterias patógenas



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Entre las ventajas pueden mencionarse las siguientes:

- a) Facilidad de uso
- b) Bajo costo

Entre las desventajas pueden mencionarse las siguientes:

- a) Necesidad de temperaturas excesivamente altas.
- b) No proporciona protección contra la recontaminación.

▪ RAYOS GAMMA

Los rayos gamma se emiten a partir de elementos radioisótopos, como el cobalto 60. Dado su poder de penetración, los rayos gamma se han utilizado tanto para la desinfección del agua potable como del agua residual. En la Figura 5 se ilustra un diagrama esquemático de un aparato productor de haces de electrones de alta energía para la irradiación del agua residual o del fango.

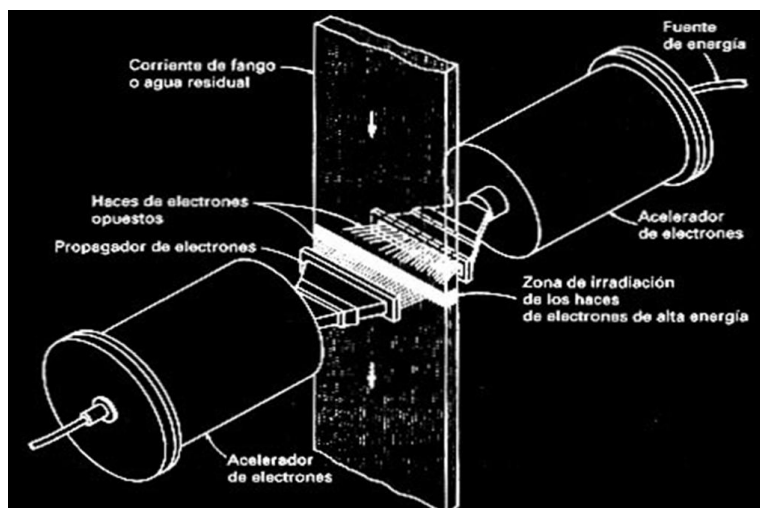


Figura 5. Diagrama esquemático de un dispositivo de haz de electrones de alta energía para la irradiación de agua residual o fango



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



La principal ventaja es la eficacia mostrado por los rayos gamma frente a otros métodos sin embargo su coste lo hace inviable en muchas ocasiones.

2.4.2 DESINFECTANTES QUÍMICOS

Para garantizar su efectividad, un buen desinfectante debe cumplir con una serie de requisitos. Los más importantes son los siguientes:

- a) Ser capaces de destruir, en un tiempo razonable, los organismos patógenos, independientemente de la cantidad en la que estén presentes y de las condiciones propias del agua.
- b) En las dosis usuales, no ser tóxicos para el hombre ni para los animales domésticos, ni presentar olor ni sabor en el agua.
- c) Tener un costo razonable; ser de manejo y dosificación seguros y fáciles.
- d) La determinación de la concentración en el agua debe ser fácil, rápida y económica (de preferencia, automática).
- e) Debe dejar residuales persistentes en el agua, de manera que estos actúen como una barrera sanitaria para posibles contaminaciones futuras.

Los compuestos químicos usados en la desinfección del agua son, por lo general, oxidantes fuertes que tienen gran eficiencia en la eliminación de los microorganismos y pueden dejar remanentes tóxicos en el agua, los cuales requieren un control estricto para evitar riesgos en la salud del consumidor.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Los más importantes son los siguientes:

- a) El ozono (O_3).
- b) El permanganato de potasio (KMnO_4).
- c) Los iones metálicos.
- d) Los halógenos como el cloro, el bromo y el yodo. El efecto germicida y de penetración de estos aumenta con su peso atómico. Por ser los de mayor importancia, se hará mayor referencia a cada uno de ellos en las siguientes secciones.
- e) Dióxido de cloro
- f) Cloro
- g) Hipoclorito Sódico
- h) Hipoclorito Cálcico

▪ **OZONO**

El ozono es un fuerte agente oxidante el cual oxida y mata sustancias orgánicas, pesticidas y organismos patógenos tales como los virus o las bacterias.

Actualmente, el ozono es el más serio competidor del cloro, por su eficiencia como desinfectante.

El ozono, es un gas ligeramente azul, de color característico, que puede sentirse después de las tempestades que es una forma alotrópica del oxígeno, en la cual tres átomos del elemento se combinan para formar una molécula. Es inestable y



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



se descompone con cierta facilidad en oxígeno normal y oxígeno nascente, es un fuerte oxidante.

La producción de ozono por electricidad de alto voltaje al aire seco, fue introducida por el ingeniero electricista alemán Werner Von Siemens. Es corrosivo y venenoso en concentraciones fuertes en la atmósfera.

El límite peligroso en la operación de plantas de tratamiento, se establece en 0.2 mg de ozono por metro cúbico de aire.

El ozono, se obtiene industrialmente, haciendo pasar una corriente de aire seco o de oxígeno, entre dos electrodos sometidos a una diferencia de potencial alterna.

Con la finalidad de evitar la formación de un cargo eléctrico, se recubre uno de los electrodos o a veces los dos, con un dieléctrico de espesor un informe, que crea una superficie equipotencial. Una pequeña parte de oxígeno se convierte en ozono, aproximadamente de 10 a 20 gr/m³.

Existen varios métodos de poner al ozono en contacto con el agua y proceder a su desinfección:

- a) Se rocía el agua en una atmósfera de ozono;
- b) Se aplica el ozono con un inyector en el agua que pasa por una máquina mezcladora provista de pantallas.

En ozono es poco soluble en el agua y es muy volátil. Se mantiene en el agua, sólo algunos minutos; en su aplicación, se pierde aproximadamente cerca de 10% de su producción, al volatizarse.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



La dosis de ozono, necesaria para desinfectar el agua, varía según la calidad del agua a tratar.

- Para aguas subterráneas con baja turbiedad y contenido mineral, 0.25 a 0.50 mg/l
- Para aguas superficiales de buena calidad bacteriológica, aplicándose el ozono después de la filtración, 2 a 3 mg/l.
- Para agua superficiales contaminadas y con el ozono aplicando después de la filtración, 2.5 a 5 mg/l

La eficiencia microbicida del ozono es bastante alta, realizando su acción en tiempos muy cortos. Estudios realizados han mostrado que cuando el ozono es transferido al agua por un mezclador en línea, las bacterias se destruyen en dos segundos.

La velocidad con la que el ozono mata a las bacterias es mucho más rápida que la del cloro, de ahí que el tiempo de contacto en la ozonización no tiene mayor significación.

La razón por la que las velocidades de muerte de las bacterias son tan distintas, entre el ozono y el cloro, es que, aunque ambos son oxidantes, el mecanismo exacto como matan es diferente. El ozono mata a las bacterias por medio de la ruptura de la membrana celular. Este proceso conocido como destrucción de las células por lisina, produce la dispersión del citoplasma celular en el agua

Si se desea optimizar este mecanismo de destrucción celular, las bacterias deben estar en contacto más estrecho con las altas concentraciones de ozono y agua, en un reactor de contra-corriente.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



En cambio, el mecanismo de destrucción de bacterias por cloro, requiere que este desinfectante se introduzca primeramente a través de la pared celular de la bacteria y se difunda dentro del citoplasma, lo que lo hace depender, en alto grado, del tiempo de contacto.

Entre las *ventajas* del ozono pueden citarse las siguientes:

- Actúa como una excelente sustancia virucida.
- Desinfecta y oxida muy eficazmente.
- Mejora la remoción de turbiedad bajo ciertas condiciones.
- Desactiva tanto al Criptosporidio como al Giardia, así como a otros agentes patógenos conocidos.
- Controla el sabor y olor.

Entre las *desventajas* del ozono pueden citarse las siguientes:

- Produce subproductos de desinfección que incluyen aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos...
- Fomenta la formación de THM cuando se combinan algunos subproductos de ozonización con procesos secundarios de desinfección. Se necesitará un filtro biológicamente activado para eliminar estos precursores recién formados.
- No proporciona un residuo persistente.
- Plantea inquietudes reglamentarias. En los reglamentos futuros de subproductos de desinfección, se puede contemplar la necesidad de contar con plantas que usen ozono para instalar los costosos sistemas de remoción de precursores (como sistemas granulares de filtración de carbono activado).



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



- Requiere inversión de capital. El ozono se debe producir en el lugar por medio de una tecnología costosa que requiere un alto nivel de mantenimiento y capacitación substancial de operadores.
- Promueve el crecimiento microbiano. El ozono reacciona fácilmente con la materia orgánica más compleja y puede descomponerla en compuestos más pequeños que sirven para aumentar los nutrientes en los abastecimientos de agua, por lo tanto mejora el nuevo crecimiento microbiano en los sistemas de distribución de agua.

▪ PERMANGANATO DE POTASIO

El permanganato potásico, conocido como oxidante desde hace muchos años, se aplica cada vez más al tratamiento del agua, aprovechando este poder oxidante y sus propiedades biocidas.

En 1.846, ya se empleaba a nivel de laboratorio para la preparación de agua ultrapura por destilación. Como desinfectante, se empleó en la epidemia de cólera de Londres a finales de los años 1.880. Fue también en Londres, donde se utilizó a gran escala en el tratamiento del agua en 1.913.

Las aplicaciones del permanganato en el tratamiento del agua se centran en:

1.- Eliminación del hierro y manganeso fundamentalmente, pero también puede eliminar sulfhídrico, fenoles y otros compuestos orgánicos.

2.- Eliminación de olores y sabores.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



3.- Como alguicida se emplea, tanto en las estaciones de tratamiento como en los lagos y embalses, en la prevención del desarrollo de algas.

4.- No produce trihalometanos, e incluso reduce los precursores de éstos.

5.- Contribuye a la coagulación, ya que el producto resultante en la reacción de oxidación del permanganato, el dióxido de manganeso, como sustancia insoluble, forma coágulos que favorecen la coprecipitación de materias en suspensión y coloides en el agua. También se comportan estos coágulos o flóculos como adsorbentes en el interior de los filtros de arena.

En aguas con alto contenido en materia orgánica, se ha comprobado la mejora en la coagulación y por tanto en la eliminación, tanto de turbidez, como de D.Q.O., cuando se utiliza permanganato en preoxidación.

El permanganato es bastante soluble en agua, su solubilidad está muy influenciada por la temperatura. Se suele preparar en concentraciones entre 5 y 50 gr/l.

Su manejo, preparación de soluciones y dosificación es fácil. Comercialmente se expende en forma sólida, en cristales pequeños o en polvo, en recipientes estancos. Su pureza es generalmente del 98,5 al 99%. Se puede almacenar a la temperatura ambiente en lugares secos, es estable hasta los 240° C. Se debe evitar su contacto con ácidos, metales pulverulentos, materias orgánicas, peróxidos y materias combustibles.

Los materiales más apropiados para su contención son en general las materias sintéticas plásticas, como PVC, teflón, polietileno.

Entre las ventajas del permanganato pueden citarse las siguientes:

- Oxida y elimina a materias orgánicas precursoras de subproductos



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



- Oxida a sustancias que causan problemas de sabor y olor
- Es fácil de aplicar en cuanto a las instalaciones requeridas
- No forma los subproductos de los demás oxidantes

Entre las desventajas del permanganato pueden citarse las siguientes:

- Puede teñir el agua de un ligero color rosado si se dosifica en exceso
- Requiere largo tiempo de contacto
- Es tóxico e irritante de la piel

▪ IONES METÁLICOS

La mayoría de los metales presenta la propiedad llamada “oligodinamia” que significa “efecto o poder en pequeña cantidad”. Metales como la plata, el cobre, el mercurio, el manganeso y el hierro, entre otros, son potenciales desinfectantes del agua. Sin embargo, de todos ellos y por variadas razones, solo la plata ha tenido algún uso en la desinfección del agua para consumo humano y como tal ha sido utilizada desde la antigüedad.

La plata no es particularmente tóxica para los seres humanos y al ser ingerida, el cuerpo absorbe solo fracciones muy pequeñas de ella. En ciertos tratamientos médicos que usan dosis altas del metal se ha detectado descoloramiento de la piel, pelo y uñas (argirosis), pero en las concentraciones que se utilizan para desinfectar el agua, no se ha observado ese inconveniente.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



La OMS no ha propuesto un valor guía para la plata en el agua de bebida, precisamente por esa relativa seguridad que manifiesta. En el tratamiento con plata no se producen sabores, olores ni colores anormales en el agua.

La plata sólo tiene propiedades desinfectantes en su estado coloidal, esto es cuando se presenta en partículas extremadamente pequeñas que permanecen en suspensión y que por su tamaño se cargan eléctricamente con mucha facilidad. Las sustancias que se utilizan son: cloruro de plata y yoduro de plata.

La plata en su forma coloidal no elimina a los virus, pero se considera de gran eficacia para destruir diversas bacterias. El mecanismo de desinfección actúa por la inactivación de las enzimas de las células bacterianas y hongos que usan oxígeno para su metabolismo, pues causa destrucción celular, aunque en tiempos muy variables y dependientes de la temperatura. Al respecto, a temperatura de 10 °C o menores se requieren tiempos muy largos, lo que hace difícil determinar el poder germicida con exactitud.

La plata coloidal puede permanecer largo tiempo en el agua, pero debido a esa lentitud en las reacciones de eliminación de materia orgánica, se considera que la plata no posee un buen poder desinfectante. Las dosis recomendadas para una alta eficiencia germicida están en el rango de 25 a 75 microgramos de plata por litro (0,025 – 0,075 mg/l).

En la desinfección con plata se emplean tres métodos. El primero o “de contacto” requiere hacer pasar el agua a través de dispositivos saturados de plata, como tanques con paredes y pantallas recubiertas con pinturas especiales que la contienen. El segundo método consiste en dosificar soluciones de plata de baja concentración de la misma forma como se hace con las soluciones de cloro y empleando equipos y dosificadores similares. El tercer método, el electrolítico, parece ofrecer el procedimiento más práctico para usar la plata. Hace uso de un



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



número de electrodos de plata conectados al polo positivo (ánodo) de una fuente eléctrica de bajo poder. Un electrodo inerte se usa como polo negativo, donde se produce y libera hidrógeno. Por electrólisis, los iones de plata son liberados por los electrodos dentro de la corriente de agua a ser tratada en proporción a la corriente suministrada.

Entre las ventajas de la Plata pueden citarse las siguientes:

- No produce sabor, olor ni color en el agua tratada.
- No hay formación de productos adicionales.
- Metodología simple y fácil de manejar.

Entre las desventajas de la Plata pueden citarse las siguientes:

- Resulta difícil controlar la dosificación por falta de un método simple
- Costos de producción altos. Se estima que 200 a 300 veces superior a la cloración.

HALÓGENOS

▪ YODO

El yodo pertenece a la familia de los halógenos y a temperatura ambiente es sólido. Tiene baja solubilidad en el agua y es la sustancia menos agresiva de su familia (cloro + bromo).

A diferencia del cloro y el bromo, sustancias que per se no producen problemas cuando se ingieren en las concentraciones normales que se encuentran en el agua, el yodo sí presenta problemas por sí mismo. En realidad, la preocupación cuando se utiliza el yodo no está tanto en los SPD, sino en su misma acción.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Al igual que los otros miembros de su familia, esta sustancia produce SPD. Sin embargo, debido a su menor potencial de oxidación y menor reactividad, ésta genera menos THM que los otros.

Al igual que el cloro y el bromo, una vez disuelto en el agua el yodo forma el hipo-ácido correspondiente (en este caso el hipoyodoso) HOI. Sin embargo, dependiendo del pH, una parte (que puede ser considerable), permanece en el agua como I_2 .

La Tabla 4 da una idea de las concentraciones relativas de cada compuesto dependiendo del pH.

Tabla 4. Porcentaje de especies de yodo según pH de solución.

pH	I_2	HIO	IO^-
5	99	1	0
6	90	10	0
7	52	48	0
8	12	88	0,005

Cabe destacar que el ión hipoyodito no es un buen desinfectante, pero que tanto el I_2 como el ácido hipoyodoso sí lo son y además presentan características



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



microbicidas muy deseables. Ambos son buenos bactericidas y destruyen inclusive esporas, quistes y virus.

Presenta la sencillez de la cloración. Sin embargo, el uso del yodo durante períodos prolongados para la desinfección del agua ha sido debatido por muchos organismos de salud, principalmente en relación con los efectos fisiológicos que el yodo puede ejercer en personas sensibles a esta sustancia. Y aunque no ha habido pruebas contundentes ni información amplia ni confirmada, al tomar la decisión de implementar o no la yodación como método de desinfección se deben tomar esas consideraciones por encima de los costos superiores, que también son razones contundentes.

Su facilidad de manejo, en cambio, lo convierte en una buena opción para la desinfección en casos de emergencia.

▪ **BROMO**

El bromo tiene el número atómico 35. Igual que el cloro, es un halógeno que reacciona fácilmente con otros compuestos. Después del flúor, bromo es uno de los productos más reactivos. Reacciona con muchas sustancias diferentes, es muy corrosivo y destruye materia orgánica.

El bromo es el único elemento no metálico que es líquido a temperatura ambiente y bajo condiciones de presión estándar. Es un líquido rojo que se evapora fácilmente y huele. El bromo es aproximadamente 3.12 más pesado que el agua. A temperaturas de 58.8 °C es gaseoso, mientras que a -7,3 °C y temperaturas menores es un sólido.

El bromo es poco soluble en agua formando iones hipobromito cuando se disuelve en ella. El rango de iones ácido hipobromoso e hipobromito está



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM

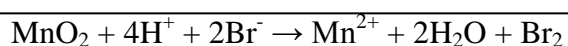


determinado por el valor del pH en el agua. Cuando este valor es entre 6,5 y 9 tanto los iones de ácido hipobromoso e hipobromito se pueden encontrar en el agua.

En la naturaleza se encuentra en forma de sales de bromo o sustancias orgánicas de bromo. Estas sustancias son producidas por distintos organismos. El Bromo se encuentra principalmente en sales solubles, agua del mar, lagos salados y salmueras. El agua del mar contiene aproximadamente 65ppm de bromo. La concentración de bromo en salmueras es mucho mayor, entre 2500 y 10,000 ppm.

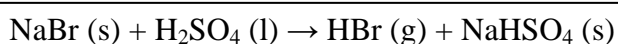
En tiempos viejos el bromo se producía mediante la obtención de una reacción entre bromato, pirolusita y ácido sulfúrico como se muestra en la reacción 1.

Reacción 1



Pequeñas cantidades de bromo se pueden igualmente obtener mediante la reacción entre el bromuro de sodio y concentraciones de ácido sulfúrico dando lugar a dióxido de sulfuro como se muestra en la reacción 2 y 3.

Reacción 2



Reacción 3



Otro método es mediante la electrolisis de las soluciones de bromuro. En el otro electrodo positivo se forma bromo como ocurre en la reacción 4.

Reacción 4



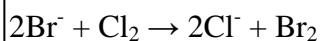
El bromo se genera mediante la inyección de cloro en soluciones acuosas ricas en bromuro con pH de 3.5. La reacción que tiene lugar se muestra en la reacción 5.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Reacción 5



Actualmente el bromo tiene muchas aplicaciones en el sector industrial y en la agricultura. Se puede utilizar para la producción de di bromo de etileno que es un constituyente de fuel con contenido en plomo. Debido a los efectos dañinos que provoca en el medio ambiente, no se utiliza más este producto. El bromo se utiliza como retardador de llama, en medicina, en fotografía, en la producción de aceite, en pinturas y pesticidas. En el tratamiento del agua el bromo es usado como alternativa en la desinfección de piscinas, y agua de las torres de enfriamiento que normalmente utilizan cloro.

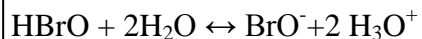
Las sustancias del bromo son desinfectantes que pueden ser utilizados como alternativas al cloro. En piscinas, el bromo se utiliza para la prevención del crecimiento de algas, bacterias y olores. En los EE.UU..., el bromo se utiliza desde 1936 para el tratamiento de aguas de piscinas. Durante la II guerra mundial, escaseaba el cloro y se utilizaba el bromo como método de desinfección en su lugar.

El bromo se puede aplicar tanto en forma fluida o como mezcla. Cuando se aplica el bromo en forma fluida, se establece el equilibrio de la reacción 6 y 7:

Reacción 6



Reacción 7



Este equilibrio depende del valor del pH. A los valores de pH habituales de las piscinas, bromo está principalmente presente como ácido hipobromoso que es el principal desinfectante.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



En la siguiente tabla se muestra se muestra la influencia del pH en la formación de ácido hipobromoso.

Tabla 5. Influencia pH en la formación de ácido hipobromoso

Ácido Hipobromoso(HBrO)		Ión Hipobromuro(BrO^-)
% Bromo forma HBrO	pH	% Bromo forma BrO^-
100	6,0	0,0
99,4	6,5	0,6
98,0	7,0	2,0
94,0	7,5	6,0
83,0	8,0	17,0
57,0	8,5	43,0

Comercialmente una de las variedades más distribuidas de bromo es el BCDMH(bromo-cloro dimetilhidantoina). En su aplicación en agua, BCDMH es



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



hidrolizado y forma ácido hipobromoso. También se forma el HClO . Los iones de hipoclorito reaccionan con bromo formando ácido hipobromoso. Cuando el BCDMH es disuelto en agua, se libera ácido hipobromoso y ácido hipocloroso. Esta es la razón por la que el bromo puede utilizarse como desinfectante y agente oxidante. La concentración de BCDMH en el agua no debe alcanzar 200 mg/L o más, porque sino el equilibrio entre el desinfectante residual y la materia orgánica se rompe. Una ventaja de BCDMH es que deja de ser dañino cuando se almacena, y es fácil de aplicar. Ocasionalmente, se debe ajustar el valor del pH.

BCDMH se distribuye en tabletas o cartuchos. Tiene una amplia vida y se disuelve despacio. Otro sistema que se puede utilizar es disolver sal de bromo (bromuro de sodio) en agua y activarlo con la adición de un oxidante (hipoclorito u ozono). Al principio, la sal se añade al agua. En segundo lugar, el oxidante se añade para activar el bromo formando ácido hipobromoso.

Durante la desinfección, el ácido hipobromoso se disocia en iones de bromo. Estos iones se pueden reactivar. El bromo reacciona con otras sustancias en el agua formando sustancias que contienen bromo. Estas sustancias son desinfectantes y no producen olores. El bromo no oxida amonio ni otras sustancias del nitrógeno. El ácido hipobromoso reaccionan con la luz del sol.

Cuando el valor del pH está entre 7 y 8,5 se genera dibromamina como la forma más común de bromo. La dibromamina es casi tan efectiva como el cloro libre en la eliminación de microorganismos. La dibromamina es muy activa y normalmente se disocia rápidamente en iones bromuro. Debido a esto el bromo no se mantiene en el agua.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM

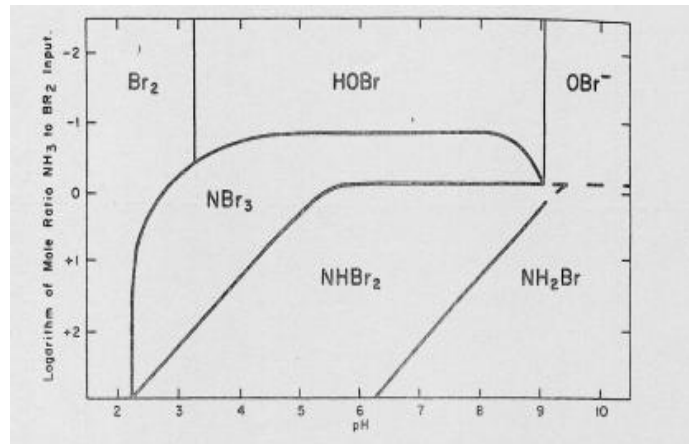


Figura 6. Diferentes formas de bromo a distintos valores del pH y concentraciones de amonio.

En figura 6 se observa las diferentes variedades de bromo que se pueden encontrar y como varían en función del pH. La variedad más importante, y es el desinfectante que se utiliza en el proyecto es el HOBr . Se aprecia una de sus ventajas principales, y es que se encuentra a altas concentraciones incluso a valores elevados de pH.

El bromo libre (Br_2) no se utiliza para el tratamiento de agua. Reacciona rápidamente con sustancias orgánicas sin producir ningún residuo. El bromo utilizado para el agua potable produce un sabor horrible a medicina. El bromo solo se debe utilizar en casos de emergencia.

Como en los casos anteriores se explican a continuación las principales ventajas y desventajas del bromo.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Entre las ventajas del bromo pueden citarse las siguientes:

- El bromo se disuelve en agua tres veces mejor que el cloro.
- La actividad del bromo en el agua es corta.
- Su alto poder desinfectante le permite destruir casi toda la materia orgánica.
- La combinación con compuestos orgánicos nitrogenados da como resultado bromaminas que a diferencia de las cloraminas no disminuyen el poder desinfectante.

Entre las desventajas de la Bromo pueden citarse las siguientes:

- El bromo es muy reactivo.
- Para mantener una adecuada desinfección la cantidad de bromo añadida debe ser alta.
- Es un material corrosivo.
- Aplicación de medidas de seguridad para transporte, almacenamiento y uso.

DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA DE BROMO

Se puede deducir que el bromo además de reaccionar con los microorganismos, también lo hace con otra materia disuelta en el medio: materia orgánica, hierro, manganeso,... Por este motivo, para tener un cierto nivel de bromo residual, la cantidad necesaria que se ha de añadir es bastante superior al residual obtenido.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Por todo ello, antes de decidir la dosis de bromo que se ha de utilizar en la industria para desinfectar, se ha de determinar la demanda de bromo, es decir, la cantidad de bromo que se consume hasta la aparición del residual. En la figura 27 se muestra una gráfica característica de demanda de bromo.

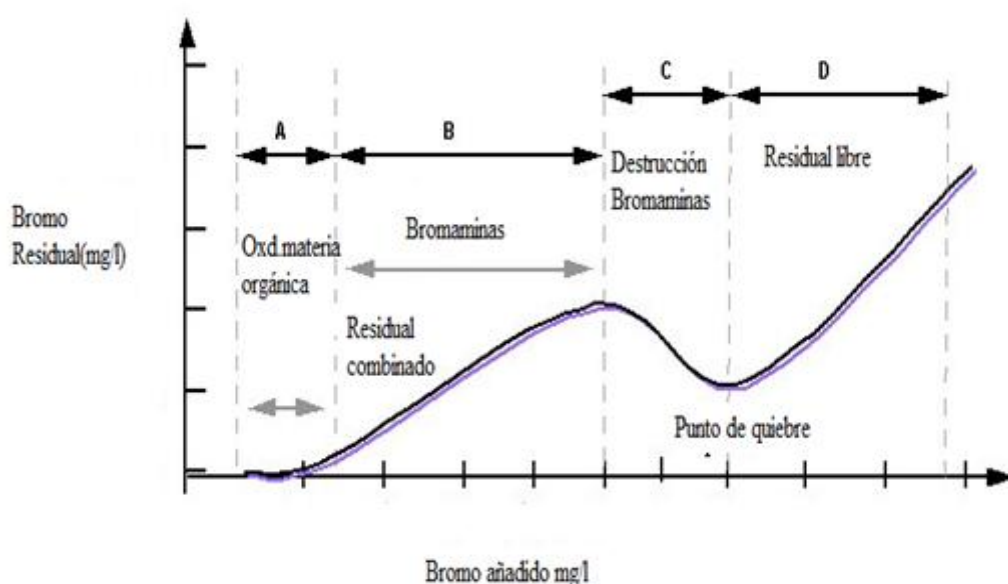


Figura 27. Demanda de bromo en una muestra de agua.

- En una primera etapa, se produce la oxidación de sustancias reductoras, principalmente inorgánicas: Fe^{2+} , Mn^{2+} , H_2S ,... Todo el desinfectante que se añade se consume, con lo cual no hay bromo disponible.
- Una vez destruidas estas sustancias, se inicia una etapa en la que se formarían compuestos bromados, principalmente bromaminas, que actuarían como bromo residual, otorgando un cierto carácter desinfectante al sistema.

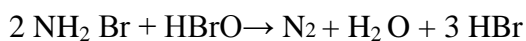


Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



- Cuando todo el amoníaco y las aminas orgánicas ha reaccionado con el bromo, después del máximo de la curva, se inicia una etapa de destrucción de estos compuestos bromados formados en la etapa anterior. A pesar de añadir más bromo, no se observa un aumento de la cantidad de bromo disponible sino una disminución, ya que se consume tanto el bromo residual que se había formado, como el desinfectante que se añade. En la reacción 8 se puede observar este efecto.

Reacción 8



- Después del punto de ruptura, todo el bromo que se añade se mantiene como bromo libre. Así pues, se considera que a partir de este punto tanto la desinfección como la eliminación de materia orgánica oxidable por bromo, se ha llevado a cabo y el agua tiene un cierto valor de bromo libre residual.

La demanda de bromo es la diferencia existente entre la cantidad de bromo aplicada al agua y la de bromo disponible libre. Así pues, podemos considerar que la demanda de bromo aproximadamente coincide con la dosis a la que se alcanza el punto de ruptura.

▪ DIÓXIDO DE CLORO

Dióxido de cloro (ClO_2) es un gas sintético que no ocurre de manera natural en el ambiente y que tiene un color verde-amarillento y un olor irritante parecido al cloro. El dióxido de cloro es un compuesto neutral del cloro. El dióxido de cloro es



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



muy diferente del elemento cloro, tanto en su estructura química como comportamiento.

El dióxido de cloro es una molécula pequeña, volátil y muy fuerte. En soluciones acuosas cuando es diluido el dióxido de cloro es un radical libre. A altas concentraciones reacciona con agentes reductores. El dióxido de cloro es un gas inestable que se disocia en gas cloro (Cl_2), oxígeno gas (O_2) y calor. Cuando el dióxido de cloro se foto-oxida mediante luz del sol, se descompone. Los productos finales de estas reacciones son Cloruro, (Cl^-), ión hipoclorito (ClO^-) y clorato (ClO_3^-). Una de las cualidades más importantes de dióxido de cloro es precisamente su alta solubilidad en agua. El dióxido de cloro no se hidroliza cuando entra en contacto con el agua sino que permanece como un gas disuelto en solución. El dióxido de cloro es del orden de 10 veces más soluble en agua que el cloro.

La mejor manera de almacenar el dióxido de cloro es en su forma líquida a 4 °C de temperatura para que sea estable. De todas maneras no se debe almacenar durante mucho tiempo porque se disocia lentamente en cloro y oxígeno.

Para producir dióxido de cloro gas, se juntan cloruro de hidrogeno con clorito de sodio. Como oxidante el dióxido de cloro es muy selectivo. El dióxido de cloro ataca el centro rico en electrones de las moléculas orgánicas. De esta manera se transfiere un electrón y el dióxido de cloro se reduce a ión clorito (ClO_2^-).

Comparando el poder de oxidación y la capacidad de oxidación de diferentes desinfectantes, se llega a la conclusión que el dióxido de cloro es efectivo a bajas concentraciones. Dióxido de cloro no es tan reactivo como el ozono o el cloro y solo reacciona con sustancias sulfúricas, aminas y otras sustancias orgánicas reactivas. En comparación con el cloro y el ozono, se requiere menos dióxido de cloro para obtener una concentración de desinfectante residual efectiva. También se puede utilizar cuando la concentración de materia orgánica es alta.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



En la figura 7 se muestra como hace falta muy poco ClO_2 para que queden residuales elevados y por lo tanto tenga eficacia la desinfección.

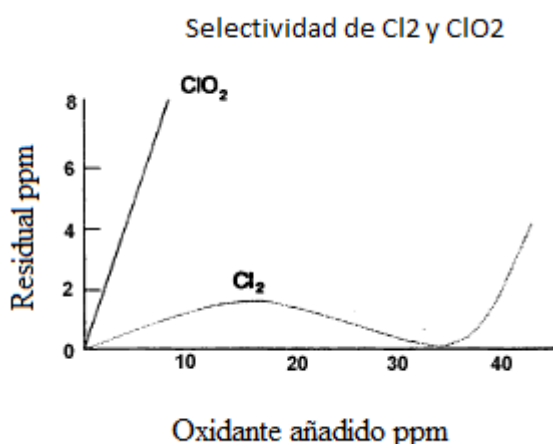


Figura 7. Selectividad de Cl_2 y ClO_2

Entre las ventajas del ClO_2 pueden citarse las siguientes:

- El interés en la utilización del dióxido de cloro para la desinfección del agua en lugar del cloro se ha incrementado en los últimos años. El dióxido de cloro es un biocida muy efectivo e incluso más efectivo en el caso de la eliminación de virus en el agua. Además, también se puede utilizar para eliminar patógenos como Giardia y Cryptosporidium que son resistentes al cloro.
- La desinfección mediante dióxido de cloro no provoca olores ni molestias. Destruye los fenoles, que son los responsables en problemas de olor y sabor. Además el dióxido de cloro es más



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



- efectivo en la eliminación del manganeso y el hierro que el cloro, especialmente cuando se encuentran en sustancias complejas.
- El uso de dióxido de cloro en lugar de cloro previene la formación de subproductos de la desinfección halogenados y dañinos, como los trihalometanos y ácidos halogenados.
- Tanto la dosis a aplicar como el tiempo de contacto del dióxido de cloro es menor que en el caso del cloro.
- Al contrario que con el cloro, el dióxido de cloro es efectivo a pH de entre 5 y 10. La eficiencia aumenta con el pH, mientras que en el caso del cloro es muy dependiendo del valor del pH
- El dióxido de cloro se puede utilizar para reducir los subproductos como ácidos halogenados y trihalometanos formados por la reacción del cloro con la materia orgánica.

Entre las desventajas del ClO_2 pueden citarse las siguientes:

- El dióxido de cloro es explosivo. Cuando se produce dióxido de cloro mediante cloruro de sodio y gas cloro, se deben llevar a cabo medidas de seguridad en el transporte y uso del cloro gas.
- La producción de dióxido de cloro es del orden de **5 a 10** veces más caro que el cloro.

▪ **CLORO**

Probablemente, no existe un proceso más difundido que la desinfección de las aguas mediante la utilización de cloro.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



El cloro es un gas verde que pesa dos veces y media más que el aire, es un elemento químico de peso atómico 35.357; punto de fusión -101.4°C , punto de ebullición -34.50°C .

La cloración, es la introducción del cloro en el agua, no sólo para desinfectarla, sino también para lograr otros resultados biológicos o químicos. Así, la cloración mejora la coagulación en muchas aguas especialmente las que contienen complejos coloreados y Hierro.

Según la *Organización Mundial de la Salud*, la desinfección con cloro es aún la mejor garantía del agua microbiológicamente potable.

El cloro no sólo es uno de los desinfectantes más efectivos para el agua potable e industrial, sino también uno de los más baratos. En el agua clara, (una unidad nefelométrica y de turbiedad o menos) y un pH menor de 8, es muy eficaz contra las bacterias relacionadas con enfermedades transmitidas por el agua. Los compuestos clorados más importantes que tienen propiedades desinfectantes y que posteriormente se analizarán son:

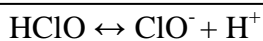
- Hipoclorito de sodio (NaClO) con un contenido de cloro activo de 10% a 15%.
- Hipoclorito de calcio [$\text{Ca}(\text{ClO})_2$] con 70% de cloro disponible.

El cloro disuelto en el agua se disocia de acuerdo con las siguientes reacciones:

Reacción 9



Reacción 10





Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



A pH mayores de 4, las especies predominantes son el HClO (ácido hipocloroso) y ClO^- (ion hipoclorito). Más aún, el porcentaje de cloro presente como HClO depende fuertemente del pH, ya que este es un ácido débil, como muestran la tabla 6.

Tabla 6. Porcentaje cloro en forma HClO en función de la temperatura y pH

TEMPERATURA	pH							
	4	5	6	7	8	9	10	11
10°C	100	100	98	83	32	3	1	1
20°C	100	100	96	75	23	4	1	1
	% HClO							

Entre las ventajas del cloro pueden citarse las siguientes:

- Destruye los organismos causantes de enfermedades, realizando esta acción a la temperatura del medio ambiente y en un tiempo corto.
- Su grado de concentración en el agua es determinado fácilmente.
- Es inocuo para el hombre y los animales, en las dosis utilizadas en la desinfección de las aguas.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



- Deja un efecto residual que protege al agua de posteriores contaminaciones.

Entre las desventajas del cloro pueden citarse las siguientes:

- Todas las formas de cloro son muy corrosivas y tóxicas. Como consecuencia, el almacenamiento, el transporte y el manejo presentan riesgos cuya prevención requiere normas más exigentes de seguridad industrial.
- El cloro oxida ciertos tipos de materiales orgánicos del agua residual generando compuestos más peligrosos.

▪ HIPOCLORITO SÓDICO

Hipoclorito de sodio (NaClO) es un compuesto que puede ser utilizado para desinfección del agua. Se usa a gran escala para la purificación de superficies, blanqueamiento, eliminación de olores y desinfección del agua.

El hipoclorito de sodio es una solución clara de ligero color amarillento y un olor característico y es inestable. El cloro se evapora a razón de 0,75 gramos de cloro activo por día desde la solución. Después de calentarse el hipoclorito de sodio se desintegra. Esto también ocurre cuando hipoclorito de sodio contacta con ácidos, luz del día, ciertos metales y venenos así como gases corrosivos.

El hipoclorito de sodio es un oxidante fuerte y reacción con compuestos combustibles y reductores. El hipoclorito de sodio es una base débil inflamable. Estas características se deben tener en cuenta en los procedimientos de transporte, almacenamiento y uso del producto.

Cuando el hipoclorito de sodio se disuelva en agua, se generan dos sustancias, que juegan el papel de oxidantes y desinfectantes. Estos son ácido



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM

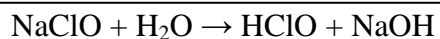


hipocloroso (HClO) y el ion de hipoclorito el cual es menos activo (ClO^-). El pH del agua determina la cantidad de ácido hipocloroso que se forma.

El hipoclorito de sodio se utiliza a gran escala. Por ejemplo en la agricultura, industrias químicas, pinturas, industrias de alimentación, industrias del cristal, papeleras y farmacéuticas, industrias sintéticas e industrias de disposición de residuos.

¿Cómo funciona el hipoclorito de sodio para la desinfección? Mediante la adición de hipoclorito de sodio en el agua, se genera ácido hipocloroso (HClO) tal y como muestra la reacción 11:

Reacción 11



El hipoclorito de sodio es efectivo contra las bacterias, virus y hongos. El hipoclorito de sodio desinfecta de la misma manera que lo hace el cloro.

Por otro lado uno de los problemas en la industria en cuanto a la utilización del hipoclorito sódico ha sido su estabilidad, y es que a medida que se aumenta la temperatura o se aumenta su concentración disminuye la vida del producto tal y como se observa en la figura 8 que se muestra a continuación.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM

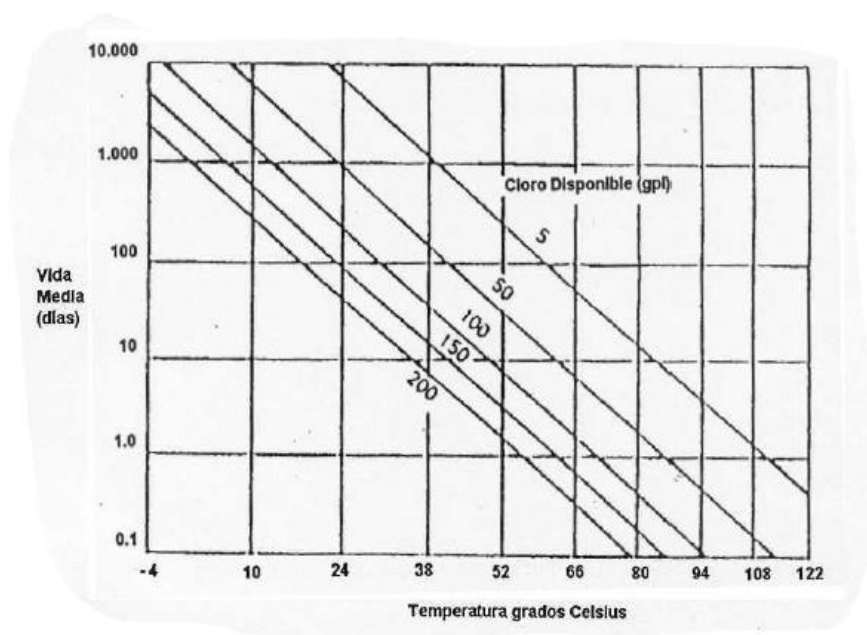


Figura 8. Comportamiento del hipoclorito sódico en función de su concentración y temperatura.

Por otro lado la estabilidad del hipoclorito es función directa del pH, siendo mucho más estable en disoluciones alcalinas como se observa en la figura 9.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM

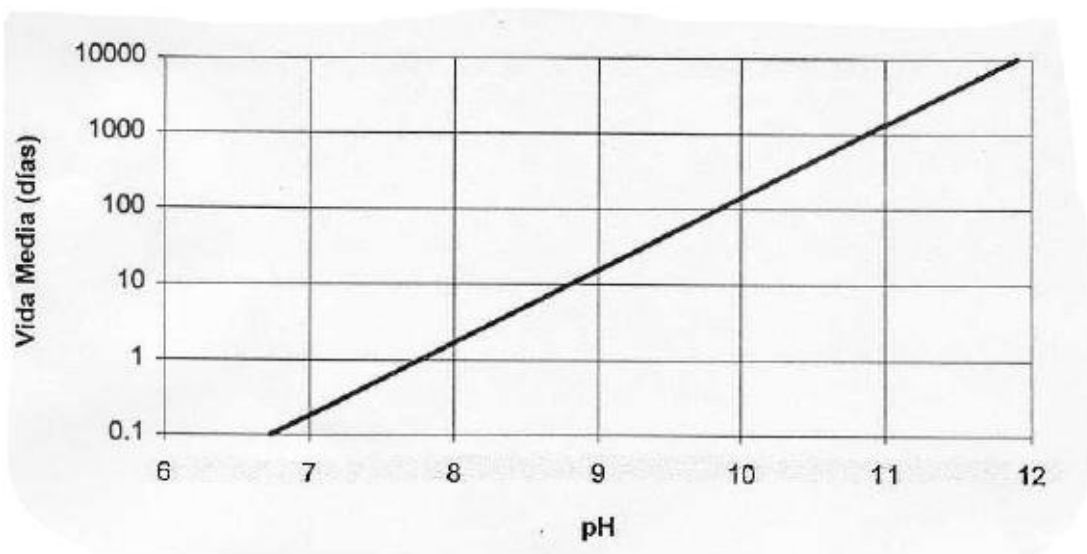


Figura 9. Vida media de hipoclorito sódico al 13% en función del pH almacenado en la oscuridad a 25°C.

Las ventajas que se pueden citar del hipoclorito sódico son las siguientes:

- Puede ser fácilmente transportado y almacenado cuando se produce en el sitio.
- El almacenamiento y transporte es seguro.
- Produce desinfección residual.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM

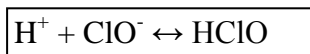
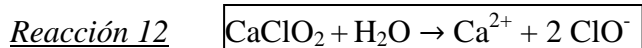


Las desventajas que se pueden citar del hipoclorito sódico son las siguientes:

- Es una sustancia peligrosa y corrosiva.
- Se deben tomar medidas de seguridad para trabajos y medioambiente.
- No debería entrar en contacto con el aire por su desintegración.
- Manipulación difícil porque se vende en forma líquida en grandes recipientes.
- **HIPOCLORITO CÁLCICO**

El hipoclorito cálcico es otra de las alternativas usadas para la desinfección del agua. Se presenta como sólido, color blanco y olor a cloro muy parecido al hipoclorito sódico pudiendo ser en forma de pastillas, gránulos o polvo y varía el contenido de cloro activo desde el 30 al 70 %.

El comportamiento del hipoclorito cálcico en agua es similar al del sódico produciéndose la reacción 12 y la 10 citada anteriormente.



Estas dos reacciones dependen del pH del agua, así, la primera predomina con valores bajos de pH y la segunda con valores altos. Cuando el pH es menor de 4, el cloro está en forma de cloro molecular. A pH 5,0 y 6,0, el cloro existente está bajo la forma de ácido hipocloroso. Por encima de pH 6,0, hay iones hipoclorito, los cuales



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



predominan cuando el pH supera el pH 7,5. Debido a esto, se comprueba que la desinfección por cloración del agua es óptima cuando el pH es bajo.

Entre las ventajas que se pueden citar del hipoclorito cálcico están:

- Mucho más estable que el hipoclorito sódico, es decir, la cantidad de cloro activo con el paso del tiempo se mantiene casi constante si se almacena con cuidado.
- Mucho más fácil de manejar por su presentación en forma sólida.
- Se pueden preparar diluciones de hipoclorito cálcico de diferentes porcentajes en peso con facilidad, con lo que se utiliza menor volumen que en el caso anterior si se aplican diluciones más concentradas.
- Buena solubilidad.

Entre las desventajas que se pueden citar del hipoclorito cálcico están:

- Es un producto corrosivo.
- Absorbe humedad con el tiempo.
- Pequeña porción de materiales no solubles.



2.5 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DESINFECCIÓN QUÍMICA

- **Los microorganismos presentes y su comportamiento**

El tipo de microorganismos presentes en el agua tiene influencia definitiva en el proceso de desinfección. La reacción de los microorganismos frente a un desinfectante parece estar determinada por la resistencia de sus membranas celulares a la penetración del mismo y por la relativa afinidad química con las sustancias vitales del microorganismo. Las bacterias como las del grupo coliforme y las salmonellas son las menos resistentes a la desinfección, pues su respiración se efectúa en la superficie de la célula.

El número de microorganismos presentes en el agua no afecta el proceso de desinfección. Ello quiere decir que para matar una gran cantidad de microorganismos se requiere la misma concentración y tiempo de contacto del desinfectante que para eliminar una cantidad pequeña, siempre y cuando la temperatura y pH del agua sean los mismos.

Cuando las bacterias forman aglomerados celulares, las que se encuentran protegidas en el interior pueden sobrevivir luego del proceso de dosificación del desinfectante. Para evitar que esto ocurra, es necesario favorecer la distribución uniforme de los microorganismos en el agua, lo cual se puede lograr mediante la agitación.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



- **La naturaleza y concentración del agente desinfectante**

Desinfectantes como el cloro y derivados pueden formar en el agua una serie de especies químicas cloradas, de diferente eficiencia desinfectante.

Por otro lado, la concentración del desinfectante determinará el tiempo de contacto necesario para destruir todos los microorganismos presentes en el agua. Por lo tanto la concentración total de agente desinfectante necesaria en el agua es igual a la concentración necesaria para satisfacer la demanda de agente desinfectante en función de las propiedades del agua, y la concentración necesaria de desinfectante residual.

- **La temperatura del agua**

Por lo general, la temperatura favorece el proceso de desinfección. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que la solubilidad de los agentes desinfectantes en estado gaseoso es inversamente proporcional a la temperatura.

Por tanto, en condiciones extremas de temperatura —por ejemplo, en lugares donde el agua llega a menos de 5 °C o en otros donde puede tener 35 °C—, la cantidad del desinfectante disuelto en el agua variará considerablemente; será menor a mayor temperatura y viceversa.

Por el contrario si se trata de desinfectantes líquidos ocurrirá lo contrario, su disolución estará mucho más favorecida a altas temperaturas que a bajas.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



- **La naturaleza y calidad del agua**

La materia en suspensión puede proteger a los microorganismos existentes en el agua e interferir en la desinfección. La materia orgánica puede reaccionar con los desinfectantes químicos y cambiar su estructura.

En ciertos casos, si en el agua persisten compuestos orgánicos que no han sido removidos en los procesos previos a la desinfección, se pueden generar derivados tóxicos o compuestos que confieren sabor u olor al agua, muchos de ellos desagradables, lo que cambiaría su calidad organoléptica.

- **El pH**

El pH del agua es de suma importancia para la vida de los microorganismos acuáticos, ya que valores muy altos o muy bajos ofrecen a los microorganismos un medio adverso, con excepción de los quistes de amebas, que soportan pH tan altos como 13 ó tan bajos como 1.

Por otra parte, la acción de los desinfectantes es fuertemente influenciada por el pH del agua. De acuerdo con su naturaleza, cada desinfectante tiene un rango de pH de mayor efectividad. Sin embargo, la práctica demuestra que cuanto más alcalina es el agua requiere mayor dosis de desinfectante para una misma temperatura y tiempo de contacto.

- **El tiempo de contacto**

Cuanto mayor es el tiempo de contacto, mayor será la posibilidad de destrucción de los microorganismos para una cierta dosis de desinfectante aplicado.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Por lo general, se ha podido observar que para una concentración dada de desinfectante, la mortalidad de los patógenos aumenta cuanto mayor sea el tiempo de contacto. Esta observación fue hecha por primera vez por Chick.

2.5.1 VARIABLES CONTROLABLES EN DESINFECCIÓN

Las principales variables controlables en el proceso de desinfección son las siguientes:

- 1) La naturaleza y concentración del desinfectante.
- 2) El grado de agitación al que se somete al agua.
- 3) El tiempo de contacto entre los microorganismos y el desinfectante.

Los demás factores no son controlables. Se deduce, entonces, que el punto fundamental consiste en un estudio del mecanismo de la desinfección.

Finalmente, cuando el desinfectante es un producto químico, resulta fundamental la concentración de la sustancia activa y su efectividad con cada tipo de microorganismo que se desea desactivar.

2.5.2 ACCIÓN DE LOS DESINFECTANTES QUÍMICOS

El sistema enzimático de las bacterias interviene en el metabolismo celular. Se considera que la principal forma de acción de los desinfectantes es la destrucción o inactivación de las enzimas. Las enzimas son producidas en el interior de las células y son protegidas por las membranas celulares. En el caso de los



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



desinfectantes químicos, se consideran muy importantes las siguientes características:

- La capacidad de penetración del desinfectante a través de las membranas celulares.
- La producción de reacciones con las enzimas de la célula de manera de producir un daño irreversible en su sistema enzimático.
- Los halógenos y especialmente el cloro cumplen con estas características.

2.5.3 CINÉTICA DE LA DESINFECCIÓN: LEY DE CHICK

La desinfección del agua no es un proceso instantáneo, ya que se realiza a una cierta velocidad, la misma que está determinada por tres factores:

- a) el tiempo de contacto
- b) la concentración del desinfectante
- c) la temperatura del agua.

Cuando los microorganismos son expuestos bajo condiciones ideales a la acción de un desinfectante, la tasa de destrucción sigue la ley de Chick.

Esta ley señala que el número de microorganismos destruidos por unidad de tiempo es proporcional al número de microorganismos remanentes. Esto se explica de la forma siguiente:

$$\frac{dN}{dT} = -kCN \quad (\text{ec.1})$$



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



donde:

N = número de organismos vivos en el instante t

C = concentración de desinfectante, masa/volumen

t = tiempo en minutos

k = constante de velocidad, tiempo^{-1}

Si N_0 es el número de microorganismos en el instante $t=0$ la ecuación 1 se puede integrar para obtener:

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = - \int_0^t KCdt \quad (\text{ec.2})$$

resolviendo:

$$\ln \left(\frac{N}{N_0} \right) = - kCt \quad (\text{ec.3})$$

En general, los virus son más resistentes a los desinfectantes que las bacterias, tal como se nota en la constante de velocidad, por ejemplo, del HClO para *E. coli* y para el virus de la poliomielitis.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



El valor t será:

$$t = \frac{-2.303}{k} \lg \frac{n}{n_0} \quad (\text{ec.4})$$

Por ejemplo, en la cloración, los valores de k para estos organismos a 6°C son los siguientes:

$$\left(\frac{20 C^{0,9}}{t} \right) \text{ y } \left(\frac{4 C^{0,9}}{t} \right)$$

respectivamente, donde C es la concentración de HClO en miligramos por litro y t es el tiempo en minutos. Estos valores de k indican que para el ejemplo dado, k es proporcional a la concentración a la potencia 0,9.

En general, $k = k^t C^x$. Donde x tiene un valor entre 0,8 y 1,5. En la práctica, no siempre la desinfección obedece a una reacción de primer orden. Por ello se presentan desviaciones de la ley de Chick. Por ejemplo, la eliminación de *Entamoeba histolytica* con cloro libre o yodo corresponde a una reacción donde se podría aplicar dicha ley; en cambio, algunos virus no siguen este comportamiento. Por ello, es necesario realizar la elaboración de las gráficas correspondientes, en la práctica, y determinar la desviación en cada caso específico.

La ley de Chick puede tomarse como referencia para conocer el comportamiento de un determinado proceso de desinfección. Conociendo el número



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



de microorganismos y la cantidad de ellos en un determinado tiempo (n/no), se puede determinar el valor de k ; es decir, la velocidad de reacción con el desinfectante.

2.6 SUBPRODUCTOS DE LA DESINFECCIÓN

2.6.1 INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua “apta para el consumo” es una de las prioridades de toda sociedad humana. No sólo es importante la cantidad para cubrir las necesidades básicas, además el agua debe tener la calidad que garantice su inocuidad para la salud. La desinfección del agua supuso un gran avance en Salud Pública a principios del siglo XX al eliminarse los microorganismos patógenos del agua causantes de las enfermedades infecciosas de transmisión hídrica. El cloro es el desinfectante más extendido, caracterizándose por su alta reactividad.

El agua que va a ser sometida al proceso de desinfección, puede contener precursores orgánicos fundamentalmente ácidos húmicos y fúlvicos, que proceden de la degradación microbiana y química de carbohidratos y proteínas. Estos precursores reaccionan con el desinfectante, dando lugar a la aparición de una serie de sustancias indeseables, que en el caso de la desinfección por cloro y bromo se trata en general de compuestos orgánicos clorados y bromados, muchos de los cuales tienen comprobada su capacidad tóxica y/o mutagénica para el hombre.

De igual forma, la cloración y bromación de aguas con elevado contenido proteico, procedente de proliferaciones masivas de algas (eutrofización), también contribuye a la formación de estos subproductos de la desinfección.

Estos compuestos no deseados, sólo se forman si los precursores orgánicos y el Cloro Residual Libre (CRL) o Bromo Residual Libre (BRL) están presentes



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



conjuntamente durante el tiempo suficiente. Una vez formados, es difícil eliminarlos del agua por ello es de suma importancia prevenir su formación.

Los subproductos mayoritarios de la cloración son:

- Trihalometanos
- Cloraminas
- Bromaminas
- Acetonitrilos halogenados
- Ácidos acéticos halogenados
- Fenoles clorados

▪ **TRIHALOMETANOS**

A mediados de los años 70's varios químicos reportaron la presencia de cloroformo y de otros trihalometanos en agua potable. Inicialmente se sugirió que era contaminación industrial o impurezas del cloro gas, lo que originó la suspensión de éste, sin embargo posteriormente grupos de colaboradores demostraron que las fuentes de estos compuestos se originaban por la materia orgánica en el agua.

Los trihalometanos constituyen un grupo de compuestos orgánicos, que como su nombre lo indica, se considera por su nomenclatura como derivados del metano (CH_4), en cuya molécula, tres átomos de hidrógeno han sido sustituidos por igual número de halógenos (cloro, flúor, bromo o yodo).

En relación con la contaminación del agua, el problema hasta el momento se ha ceñido a la presencia de cuatro miembros del grupo que son: Cloroformo (CHCl_3),



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



bromodiclorometano (CHBrCl_2), dibromoclorometano (CHBr_2Cl) y bromoformo (CHBr_3). En vista que los cuatro SPDs anotados anteriormente se producen conjuntamente, con frecuencia se consideran como un grupo, denominado trihalometanos totales .

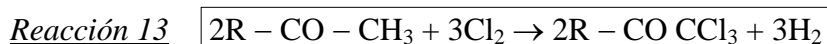
De todos ellos, el que comúnmente se encuentra, es el cloroformo, razón por la que la información disponible, se refiere en forma exclusiva a ésta sustancia.

➤ **FORMACIÓN DE TRIHALOMETANOS**

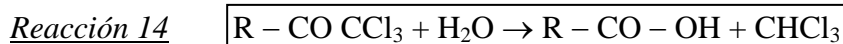
La formación de los trihalometanos, durante la desinfección del agua con el cloro libre, obedece a un complicado mecanismo, por el cual las especies químicas que el halógeno forma con el agua, reaccionan con los derivados del humus que ese medio habitualmente contiene.

Cloro residual libre + precursores (ac. húmico) \rightarrow THMs(cloroformo + otros trihalometanos)

El fenómeno de la formación de trihalometanos se puede representar a través de la siguiente reacción:



Y una hidrólisis posterior:



➤ **FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FORMACIÓN Y CONCENTRACIÓN DE TRIHALOMETANOS**

La rapidez de formación de THMs y la concentración final de THMs depende de 6 factores:



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



- Temperatura: Manteniendo el pH y la dosis de cloro, al aumentar la temperatura mayor es la posibilidad de formación de cloroformo.
- Efecto del pH: La formación de trihalometanos es mayor al aumentar el valor del pH del agua, por la acción catalítica del haloformo.
- Cloro residual: La concentración de cloroformo aumenta de forma directa con el residual del cloro.
- Precusores orgánicos o sustancias húmicas: Cuando en el agua existe gran cantidad de derivados del humus mayor será la posibilidad de formación de trihalometanos.
- Concentración de bromo (Br) en agua: El bromo es un constituyente natural del agua, reacciona con el cloro para formar ácido hipobromoso y a su vez éste con precursores orgánicos
- Tiempo de contacto del cloro.

Finalmente conviene señalar que los trihalometanos no se forman exclusivamente durante la fase del tratamiento del agua. Por depender de la concentración de los precursores y de la dosis de cloro residual, la reacción que da origen a los THMs, puede continuar desarrollándose en el sistema de distribución del agua.

▪ CLORAMINAS

Las cloraminas se forman mediante la reacción del cloro (Cl_2) y amonio (NH_3). Las cloraminas son aminas que contienen al menos un átomo de cloro,



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



directamente unido a átomos de nitrógeno (N). Las cloraminas inorgánicas se forman cuando el cloro disuelto y amonio reaccionan. Durante esta reacción se forman tres tipos diferentes de cloraminas; monocloraminas (NH_2Cl), dicloraminas (NHCl_2) y trocloramina (NCl_3).

Cloraminas inorgánicas, cloro libre y cloraminas orgánicas están relacionadas en cuanto a su composición química y pueden transformarse entre ellas con facilidad.

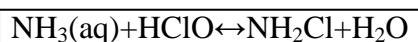
Estos compuestos no se encuentran de manera aislada. Las cloraminas inorgánicas no son persistentes, pero son más persistentes que los compuestos libres de cloro.

Investigaciones demuestran que la mitad de la vida de cloraminas inorgánicas puede variar entre uno a 23 días, dependiendo de las circunstancias.

¿Cómo se producen las cloraminas?

Las cloraminas son producidas normalmente mediante la adición de amonio al agua que contiene cloro libre (HClO or ClO^- , dependiendo del pH). El pH ideal para esta reacción es de 8.4, agua ligeramente alcalina.

Reacción 15



Cuando se produce la reacción se pueden formar tres tipos de cloraminas inorgánicas diferentes dependiendo del valor del pH. Las tricloraminas se forman normalmente cuando los valores del pH son de 3 o menor. Cuando el valor del pH es de 7 o por encima de este valor, la concentración de dicloraminas es mayor.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



La cantidad de cloro y amonio en el agua también influye en la generación de cloraminas. El rango cloro/ amonio ideal es de 6:1. Durante la producción de cloraminas este rango es normalmente entre 3-5.1. Cuando la cantidad de amonio es mayor, se suelen formar mas di y tricloraminas.

Las cloraminas orgánicas también pueden tener lugar durante estas reacciones. Las cloraminas orgánicas no se distinguen de otro tipo de cloraminas con métodos estándar normales de análisis. En la tabla 7 que se muestra a continuación aparecen los principales subproductos de cloro que se forman durante la desinfección.

Tabla 7: Resumen subproductos cloro

<u><i>Apariencia</i></u>	<u><i>Nombre</i></u>	<u><i>Peso molecular</i></u>	<u><i>pH requeriso</i></u>	<u><i>Efecto biocida</i></u>
NH_2Cl	Monocloraminas	52	>7	Bueno
NHCl_2	Dicloraminas	8	4-7	Tolerable
NCl_3	Tricloramina	119	1-3	Medio
RNHCl	Cloraminas orgánicas	Varios	Desconocido	Malo



Cuando las cloraminas se usan como desinfectante, se añade amonio al agua tratada con cloro. El amonio es añadido después del cloro, para que el tiempo de contacto (TC) sea menor que cuando se añade primero. En la tabla 8 que aparece a continuación se muestra la variación de las cloraminas en función del pH.

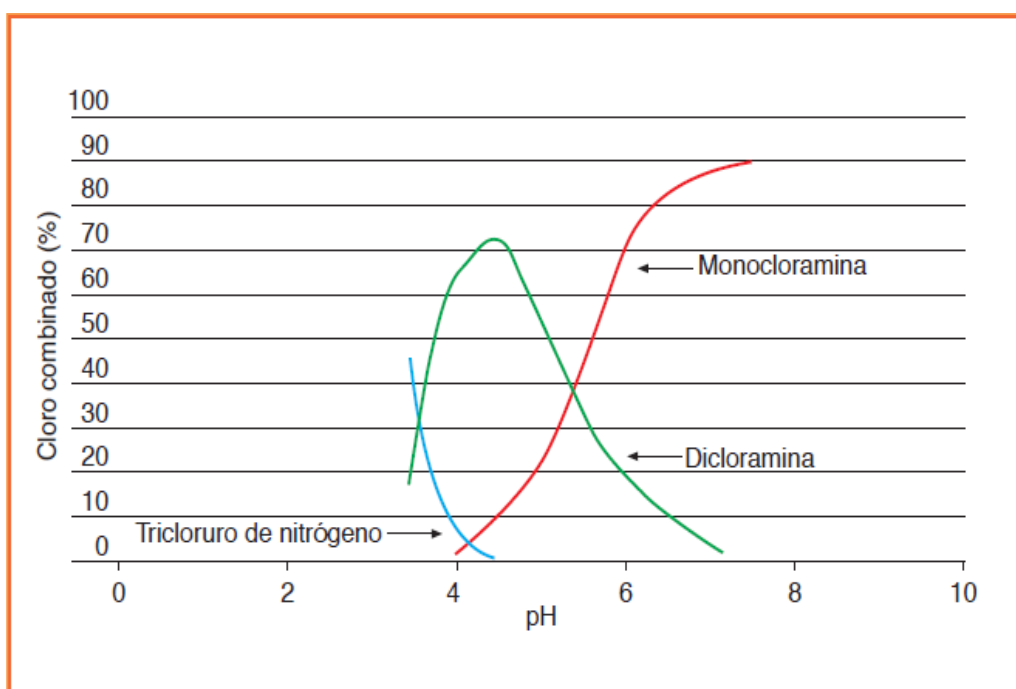


Figura 10. Evolución de cloraminas con el pH

Las cloraminas son tan efectivas como el cloro en la desactivación de bacterias y otros microorganismos, pero los mecanismos de la reacción son más lentos. Las cloraminas, como el cloro, son oxidantes. Las cloraminas pueden matar bacterias penetrando en la pared celular y bloqueando el metabolismo. Monocloramina es la más efectiva para la desinfección porque reacciona directamente con aminoácidos en el ADN bacteriano. Durante desactivación de los microorganismos destruyen la capa que protege los virus. Cuando el pH es 7 o



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



mayor, monocloraminas son las más abundantes. El pH no interfiere en la efectividad de la cloramina.

▪ **BROMAMINAS**

Las bromaminas son subproductos que se forman al desinfectar el agua con bromo, el cual entra en contacto con compuestos orgánicos dando lugar a unos subproductos similares a los obtenidos en la cloración.

Las bromaminas que se forman en el agua, a diferencia de las cloraminas son buenas desinfectantes, con actividad similar al ácido hipobromoso. Se degradan con rapidez, sin producir malos olores ni ser agresivas para la piel y mucosas. Los compuestos bromados son menos agresivos frente a las instalaciones, son menos corrosivos que los compuestos clorados y es mayor su acción antimicrobiana.

Una de las ventajas fundamentales de la utilización del bromo frente al cloro radica en los subproductos que se forman. A pesar de que las bromaminas son buenas desinfectantes y las cloraminas no tanto, estudios científicos demuestran que son cancerígenos por lo que son productos no deseables en la desinfección. En la figura 11 se observa como las cloraminas son más persistentes en el agua que las bromaminas.

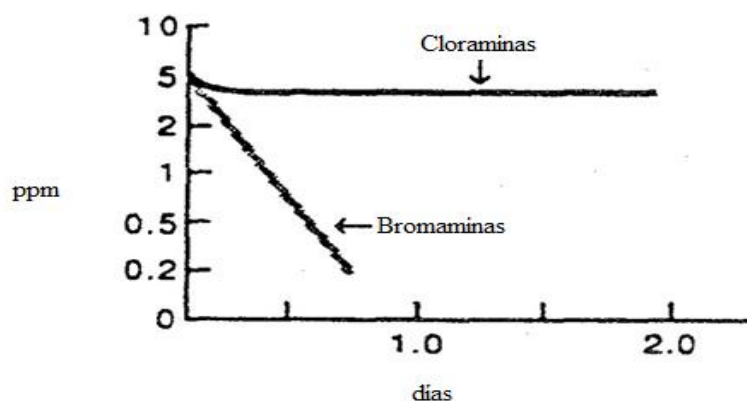


Figura 11. Degradación de bromaminas y cloraminas con el tiempo

▪ ÁCIDOS ACÉTICOS HALOGENADOS

Los ácidos acéticos halogenados se forman a partir de la materia orgánica durante la cloración del agua. Aunque no se han investigado tan a fondo como los THM, son probablemente los principales subproductos de la cloración del agua.

Los ácidos mono, di y tricloroacéticos, así como los ácidos mono y dibromoacéticos, se han medido en agua potable. Si disminuye el pH, la concentración de ácidos acéticos trihalogenados tiende a aumentar y la de ácidos acéticos dihalogenados permanece constante. Los niveles típicos de los ácidos acéticos clorados en los suministros de agua potable varían de 0.03 a 0.15 mg/L.



➤ **FACTORES QUE INFLUYEN EN SU FORMACIÓN**

Se forman también a partir de la materia orgánica durante la cloración del agua. Entre los factores que influyen en su formación el efecto que más ha sido estudiado, es el efecto del pH, observándose que al disminuir el pH la concentración de ácidos acéticos trihalogenados tiende a aumentar y la de ácidos acéticos dihalogenados permanece constante.

▪ **ACETONITRILOS HALOGENADOS**

Se han identificado sólo como subproductos de la cloración de aguas superficiales y subterráneas. Los precursores potenciales para la formación de estos compuestos durante la cloración son las algas, las sustancias húmicas y material proteínico: los cuales están presentes de forma natural en el agua. El más abundante de los acetonitrilos es el dicloroacetonitrilo. En varios estudios se encontró este compuesto en los suministros de agua muy clorada, a concentraciones hasta de 0.02 mg/L.

▪ **FENOLES CLORADOS**

Están presentes en el agua como subproductos de la reacción del cloro con compuestos fenólicos, tales como los biocidas, o como productos de la degradación de herbicidas del grupo fenoxi.

Los tres clorofenoles más probables que pueden resultar de la cloración son 2-clorofenol, 2,4-diclorofenol y 2,4,6-triclorofenol. Los umbrales gustativos son respectivamente 0.3 y 2 $\mu\text{g/L}$. Las concentraciones de los clorofenoles en el agua potable son generalmente menos de 1 $\mu\text{g/L}$.



▪ CONTROL DE LOS SUBPRODUCTOS DE LA DESINFECCIÓN

Al seleccionar el desinfectante para que el agua sea microbiológicamente segura, es importante ser conscientes de los subproductos de la desinfección y sus consecuencias para la salud. Por todo ello, es fundamental saber qué subproductos se forman, bajo qué condiciones, cuáles son los riesgos para la salud y cómo se pueden reducir.

Así, la OMS utiliza el enfoque riesgo-beneficio, en el que se valoran los agentes patógenos, los desinfectantes, los subproductos de la desinfección, la calidad del agua, el costo, etc., con el objeto de equilibrar las compensaciones entre los riesgos microbianos y los químicos, siempre y cuando no se vea comprometida la desinfección del agua.

Como estos subproductos (materiales orgánicos halogenados), son difíciles de eliminar una vez formados, debe evitarse su formación durante las etapas de tratamiento del agua o al menos reducirlos al mínimo.

Así, en función de las características del agua se podrán adoptar las siguientes medidas preventivas:

1) Control de las fuentes de abastecimiento de agua para disminuir o eliminar los precursores, de esta forma las aguas subterráneas son preferibles a las superficiales.

2) Filtración del agua sobre carbón activo antes de la dosificación del cloro, con objeto de eliminar los precursores de los THMs, este procedimiento es muy eficaz pero tiene como inconveniente su elevado costo.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



3) Evitar el uso del cloro gas o hipocloritos sustituyéndolos por ozono, dióxido de cloro o cloraminas, que no reaccionan con los precursores de los halometanos.

4) Cloración por etapas, evitando la presencia de cloro libre antes de la filtración. Las dosis empleadas en cada etapa no deben sobrepasar el punto de ruptura.

5) Limitar la presencia de precursores de los THMs en el agua antes de los tratamientos, mediante la limpieza frecuente de las instalaciones para la eliminación de algas, colocar las instalaciones al abrigo de la luz etc.

6) Eliminar el proceso de la precloración, como etapa inicial de los tratamientos.

Son de gran importancia las medidas 1) y 2) ya que de este modo se conseguirían los siguientes objetivos:

- Reducir la demanda de cloro.
- Se reducirían las cantidades de sustancias orgánicas oxidadas que pudieran formarse posteriormente en el proceso.
- Se reducirían los efectos perjudiciales sobre el agua tratada causados por los altos niveles de sustancias orgánicas y de cloro.



2.7 COMPARACIÓN CLORACIÓN Y BROMACIÓN

2.7.1 INTRODUCCIÓN

La industria se ha basado en el cloro como el principal método para el control microbiológico de las aguas de refrigeración y desinfección de aplicaciones de tratamiento de residuos. Hoy en día, la preocupación por el medioambiente, la seguridad y las cuestiones de responsabilidad han causado que se reconsidere el uso del cloro y mirar a otras alternativas biocidas que cumplen los requerimientos de aprobación de la gestión ambiental y minimiza los problemas de seguridad y responsabilidad.

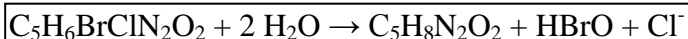
La industria del bromo ha demostrado ser más simple y económica que la cloración para este tipo de aplicaciones.

2.7.2 QUÍMICA DEL BROMO

El bromo puede ser suministrado de diferentes formas según muestran las reacciones 16,17 y 18.

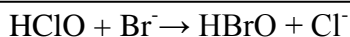
1. BCDMH(3 Bromo-1 Cloro-5,5 Dimetilhidantoina)

Reacción 16



2. Bromuro activado

Reacción 17





Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



3.

3. Cloruro de Bromo

Reacción 18



Estas reacciones muestran como el bromo, en sus diferentes formas, se hidroliza en el agua para formar el ácido débil, el ácido hipohaloso.

A pesar de la forma en la que el bromo es suministrado, el principal mecanismo para la actividad biocida es la formación de ácido hipobromoso. Esto es análogo a la formación del ácido hipocloroso para la cloración del agua.

Ambos ácidos hipohalosos son fuertes agentes oxidantes, los cuales se combinan con el protoplasma formando enlaces estables nitrógeno-halógeno con las proteínas. La formación de esos enlaces interrumpe el proceso metabólico y además es tóxico para los organismos vivos.

Desde que el bromo y el cloro están en la misma familia de halógenos hay muchas similitudes en como los dos elementos reaccionan en el tratamiento del agua. Sin embargo, hay ciertas distinciones que merecen ser mencionadas.

2.7.3 AMBIENTE NITRÓGENO

Desde los distintos niveles de amoníaco y compuestos nitrogenados se encuentran en la mayoría de aguas y aguas residuales, por lo que es importante considerar el efecto de esas sustancias sobre la actividad biocida y el efluente residual final de los sistemas tratados con bromo y con cloro.

Las haloaminas son rápidamente formadas cuando el agente biocida activo, el ácido hipohaloso, entra en contacto con los compuestos nitrogenados. Las cloraminas se forman en la cloración y son relativamente pobres biocidas. La monoclaramina es la predominante y a $\text{pH}=8,5$ la formación de la misma está virtualmente formada. La actividad de la monoclaramina es 80 veces menor que la del cloro libre.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Mono y dibromaminas se forman durante la bromación y son biocidas muy activos. Estas bromaminas muestran propiedades de desinfección comparables a las del bromo libre. En los sistemas, el punto de ruptura es requerido para mantener el control microbiológico en presencia de amoníaco.

Desde que las bromaminas son biocidas muy efectivos, el punto de ruptura de la bromación es menos relevante que en la cloración pero sigue siendo imprescindible. En resumen, el control efectivo microbiológico y la desinfección pueden ser logrados con dosis muchos menores cuando se utiliza bromo.

La figura 12 muestra el efecto de los diferentes biocidas contra las tres bacterias principales. El cloro fue efectivo contra el *E. Coli* pero fue menos efectivo contra *Pseudomonas* y *Streptococcus*. *Pseudomonas* es conocido por su relativa resistencia a los biocidas y es el género predominante en la capa residual de bacterias formadas de biofouling en los condensadores, intercambiadores de calor y tuberías. Sin embargo se observa cómo el HBrO es el más efectivo ya que actúa mejor en menores dosis.

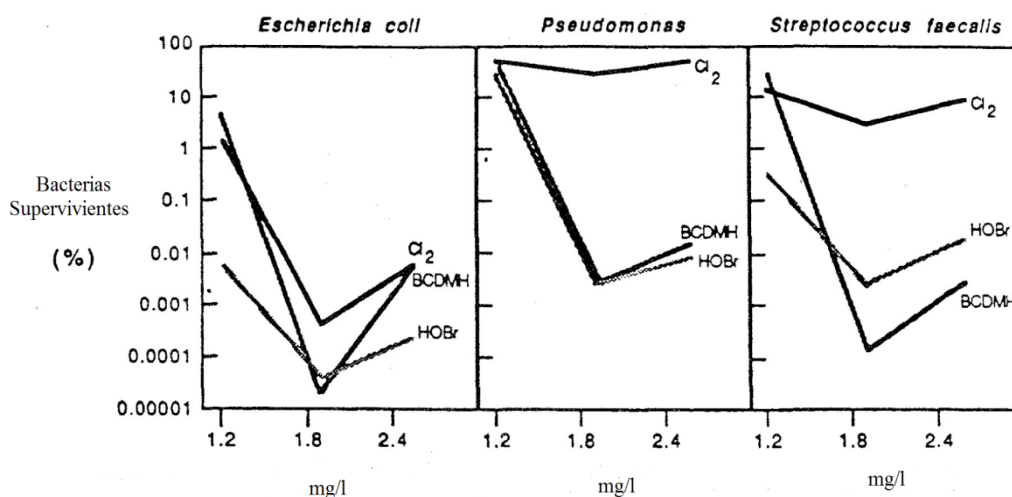


Figura 12. Efecto biocida del cloro y bromo frente a las principales bacterias



2.7.4 CINÉTICA

La figura 13 muestra el porcentaje de bacterias supervivientes en función del tiempo. La química del bromo mata niveles de al menos cuatro órdenes de magnitud en menos de cuatro minutos. Estos resultados toman especial importancia en aplicaciones que requieren desinfecciones rápidas incluyendo agua de sistemas de refrigeración y tratamiento de aguas residuales.

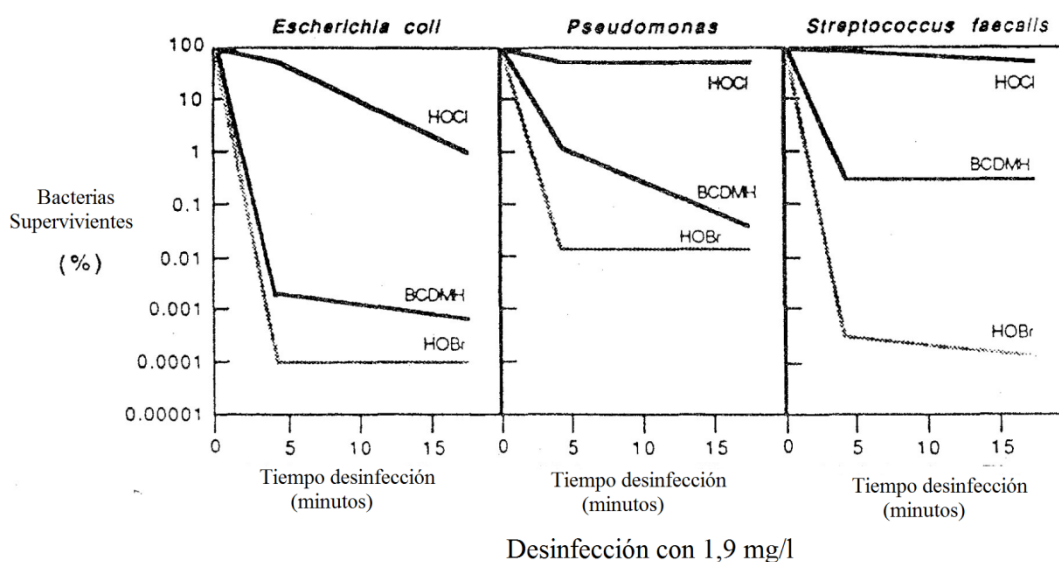


Figura 13. Efecto del tiempo de desinfección

La cinética de la desinfección de la química del bromo hace posible reducir el tiempo de contacto en estas aplicaciones. La industria que ha optado por el uso del bromo ha reducido la duración del tratamiento del agua alrededor de un 80% con respecto al cloro. Esta disminución no sólo beneficia al medioambiente, sino que puede disminuir la velocidad de corrosión del sistema.



▪ MEDIOAMBIENTE

Un análisis sobre la disminución relativa de velocidad de las bromaminas y cloraminas ayuda a explicar el por qué la química del bromo tiene un impacto positivo sobre el medioambiente. Las bromaminas decaen a niveles bajos en menos de una hora mientras que las cloraminas requieren de muchas horas para decaer a los mismos niveles.

2.7.5 AGUAS ALCALINAS

Está bien documentado que la efectividad del cloro se reduce significativamente en ambientes alcalinos. A medida que el pH del agua aumenta el HClO y HBrO se disocian para dar ClO^- y BrO^- que no son iones biocidas activos a los niveles típicos usados. Las curvas de la figura 14 muestran la disociación del HClO y HBrO en función del pH. Una comparación de las curvas muestra que la actividad del HBrO es dominante hasta pH 8,7 mientras que a pH 7,5 hay sólo el 50 % de cloro activo. Sabiendo que las torres de refrigeración y sistemas de recirculación tienen ambiente alcalino, es fácil de entender por qué el bromo es mejor biocida que el cloro.

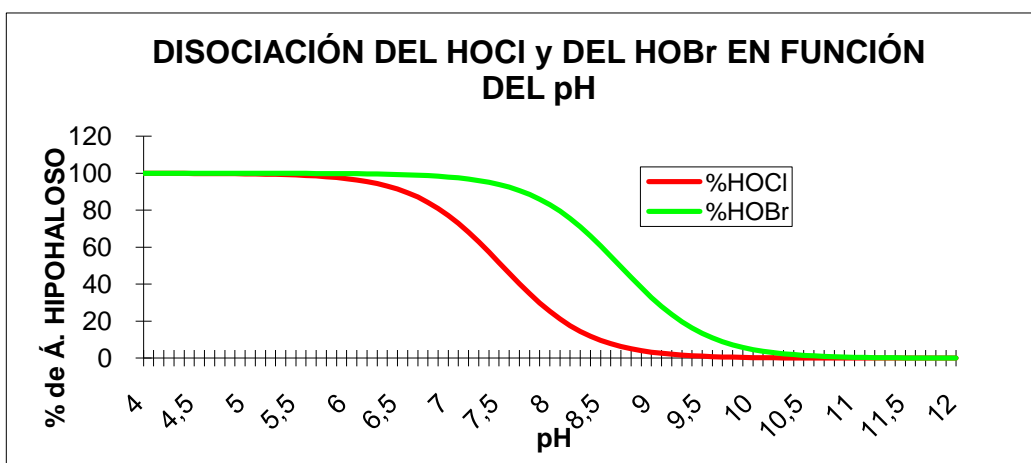


Figura 14. Disociación ácidos en función del pH



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



El estudio Purdue presentado en la “Conferencia Internacional de agua de Pittsburgh” estudia la desinfección en ambientes alcalinos. El resultado muestra en la figura 15 las expectativas previstas. El bromo alcanza niveles de mortandad de 4 ó 6 órdenes de magnitud a un $\text{pH}=8,2$. El cloro fue menos efectivo contra E.Coli y todavía menos contra Pseudomonas y Streptococcus. Estos datos ayudan a explicar por qué la desinfección basada en el bromo es más efectiva con menor dosis en ambientes alcalinos.

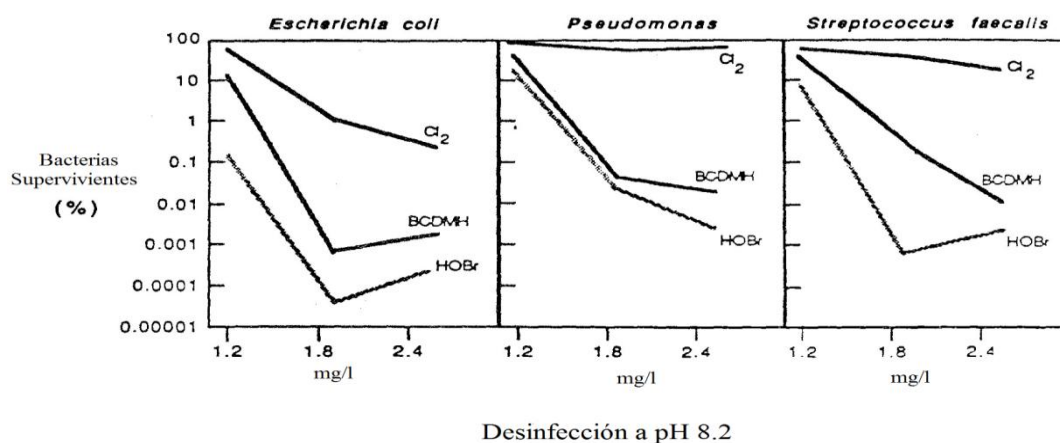


Figura 15. Desinfección en ambiente alcalino



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



2.7.6 VENTAJAS QUÍMICAS DEL BROMO FRENTE AL CLORO

En resumen hay cuatro puntos principales que explican la fuerza del bromo en las aplicaciones de tratamientos de agua.

1. Efectividad de desinfección a bajas dosis mata bacterias hasta niveles de 5 ó 6 órdenes de magnitud y se alcanzan con dosis de 2 ppm.
2. Cinética rápida. Mata a niveles considerables en menos de 4 minutos.
3. Rápida velocidad de decaimiento del bromo combinado, es decir, la vida media de las bromaminas son medidas en minutos.
4. Alta actividad biocida en ambiente alcalino.

Muchas plantas operativas han encontrado que pueden mejorar la productividad y las descargas con bromo y así eliminan la necesidad de cloración.



3. PARTE EXPERIMENTAL



3.1 CONSIDERACIONES PREVIAS A LOS CÁLCULOS

1. El hipoclorito sódico comercial (13%) se degrada con el tiempo lo que disminuye su concentración. De hecho muchos fabricantes lo certifican como de 160-180 g/l de cloro libre al día. Esto implicaría aumentar la relación del hipoclorito para conseguir que reaccione todo el bromo.
2. Las reacciones implicadas en la formación del HBrO son la 10 y 17.
3. El hipoclorito sódico al estar mezclado con agua al 13%, no existe como tal ya que se transforma de inmediato en HClO según la reacción 10.
4. Cuando se prepara la mezcla con la sal de bromo, el pH de la misma varía poco del inicial del hipoclorito sódico comercial, pero las especies presentes cambian como se aprecia por su cambio de color y propiedades.
5. Posteriormente el BrO^- una vez introducido en el sistema se ve afectado por el siguiente equilibrio a cierto pH de la reacción 7 produciendo HBrO que actúa como desinfectante.
6. Por todo lo anterior, el pH de los circuitos incide únicamente en la efectividad del tratamiento (más efectivo cuanto menor sea el pH) y no en la estequiometría de la mezcla DREWBROM/Hipoclorito.

3.2 REACCIONES

A modo de introducción, a continuación se explica la metodología del proyecto.

El propósito del proyecto es comparar dos sales diferentes para la obtención de ácido hipobromoso en el agua, que es el desinfectante que se quiere obtener. Se pretende obtener la misma cantidad de bromo residual libre utilizando la misma cantidad de sal de bromo y utilizando la misma relación másica con ambas sales



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM

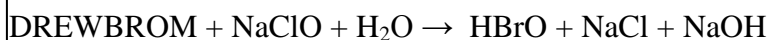


(3:1). El resultado satisfactorio del ensayo permite sustituir una sal por otra con las ventajas que ello conlleva, como son su mayor estabilidad y manejabilidad, ya que permite el uso de disoluciones más concentradas que en el caso del hipoclorito sódico, y esto supone un ahorro de peso para el encargado de manejar los productos. Además, la mayor pérdida de eficacia del hipoclorito sódico como consecuencia de su degradación hace que se tenga que reponer por nuevo producto suponiendo costes adicionales.

1º MÉTODO

En primer lugar se utilizará una disolución formada por hipocloritio sódico comercial al 13 % y una sal de bromo (DREWBROM) para producir ácido hipobromoso, que es mucho mejor biocida y desinfectante que el cloro, que es el más utilizado actualmente, además de trabajar en un intervalo mayor de pH. El ácido hipobromoso es la forma activa del bromo, el cual le da poder desinfectante al agua. La formación de este ácido se potencia si el pH es bajo. Este es el método que actualmente se está empleando en el sector y que se va a estudiar para poder compararlo con la alternativa del hipoclorito cálcico.

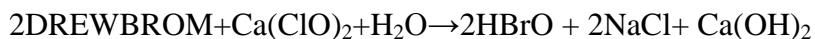
Reacción 19



2º MÉTODO

En segundo lugar se utilizará una disolución formada por hipoclorito cálcico al 13,2 % y una sal de bromo (DREWBROM) para producir ácido hipobromoso. La reacción que tiene lugar es la número 20:

Reacción 20





Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Una vez se tengan las dos disoluciones preparadas se añadirán a una muestra de agua a desinfectar tomada de un sistema de recirculación de torres de refrigeración. En una primera muestra se añade la primera disolución formada por el hipoclorito sódico y la sal de bromo, y en una segunda muestra la segunda disolución formada por el hipoclorito cálcico y la sal de bromo.

Después de un cierto tiempo de contacto para que actúe el desinfectante y mediante un fotómetro portátil se obtendrán lecturas directas de la cantidad de bromo residual libre que se encuentra en el agua. Si la cantidad obtenida es similar, (ya que influyen los errores determinados e indeterminados) se podrá decir que el resultado, y por consiguiente el experimento, es satisfactorio y se podrá llevar a cabo la sustitución de un reactivo (NaClO) por otro ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$).

3.3 DEMANDA DE BROMO DEL AGUA A TRATAR

El primer propósito del ensayo es determinar la demanda de bromo de la muestra de agua que se tiene, es decir, la cantidad de bromo que se ha de añadir al agua para que permanezca una cantidad medible de bromo residual libre. Con la curva que se obtiene se muestra de manera clara que cantidad mínima es la que deja bromo medible.

En el caso de este proyecto se ha llevado a cabo el análisis de la demanda de bromo del agua a tratar. Para ello se disponía de un depósito de 100 litros propiedad de la empresa, el cual estaba lleno de agua procedente de las torres de refrigeración objeto del estudio. Se fueron añadiendo progresivamente más cantidad de desinfectante preparado con hipoclorito cálcico y tomando muestras del mismo para



poder obtener el punto de ruptura. Los resultados obtenidos se pueden observar en la figura 28

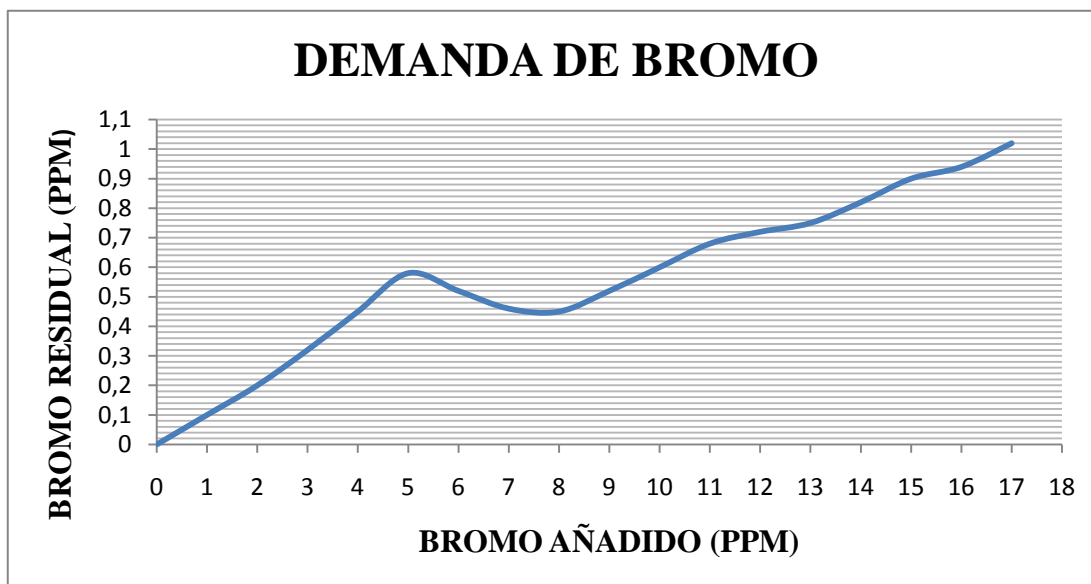


Figura 28. Demanda de bromo de agua de torres de refrigeración.

En primer lugar se observa como la gráfica asciende hasta un máximo, en esta primera etapa se produce la formación de bromaminas. Posteriormente se sigue añadiendo más cantidad de desinfectante y se observa como decrece la cantidad de bromo residual hasta un mínimo, esto es debido a que las bromaminas formadas van desapareciendo. A partir de ese mínimo la gráfica vuelve a ascender progresivamente, es aquí donde todo el bromo que se añade queda como bromo residual libre y por lo tanto es el punto que determina la cantidad de desinfectante a emplear.

Como se observa en la figura 28, el punto de ruptura se encuentra aproximadamente entorno a los 8 ó 9 ppm de desinfectante añadido, y por lo tanto es la cantidad mínima que deja bromo residual libre.



Para asegurar que queda suficiente bromo residual medible en el agua se ha trabajado con 15 ppm de desinfectante formado con hipoclorito cálcico

3.4 PREPARACIÓN DE ENSAYOS

3.4.1 CÁLCULO DE RELACIONES MÁSCAS

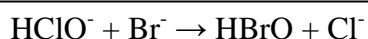
El funcionamiento del DREWBROM como biocida, consiste, en que al mezclarse con hipoclorito sódico, desplaza el cloro por el bromo, generando ácido hipobromoso, mucho más activo como biocida que el ácido hipocloroso tal y como muestra la reacción 20.

Estequiométricamente para que todo el ácido hipocloroso se convierta en ácido hipobromoso se necesitaría realizar una mezcla de hipoclorito sódico con DREWBROM en la proporción 2,22:1 aunque en la práctica y para asegurar que reacciona todo el DREWBROM se mezcla en la proporción 3:1.

RELACIÓN MÁSCA DREWBROM/HIPOCLORITO SÓDICO

Los datos de partida son los siguientes:

- El % de NaBr sobre el DREWBROM es de un 40 % en peso.
- El porcentaje de NaClO sobre el hipoclorito sódico comercial es de un 13 % en peso.
- Los pesos moleculares del NaClO y NaBr son 74,5 y 102,9 g/mol respectivamente.
- La reacción para calcular la relación de pesos es la número 17:





Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Que es formalmente equivalente a la reacción 19 expuesta en un principio.

- 1 Kg de DREWBROM contiene 400 g de NaBr lo que corresponde a:

$$\text{Moles NaBr} = \frac{400}{102,9} = \underline{3,88 \text{ moles de NaBr}} \quad (\text{ec.5})$$

- 3,88 moles de NaBr reaccionan mol a mol con el NaClO según la reacción 19, lo que suponen:

$$3,88 \times 74,5 = \underline{289 \text{ g de hipoclorito sódico.}} \quad (\text{ec.6})$$

- Como el hipoclorito está en disolución al 13 %:

$$\frac{(289 \times 100)}{13} = \underline{2,22 \text{ kg de disolución Hip.Sódico}} \quad (\text{ec.7})$$

- En resumen la relación en peso DREWBROM/HIPOCLORITO :



Aunque finalmente se tomará 1:3.



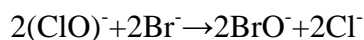
RELACIÓN MÁSCA DREWBROM/HIPOCLORITO CÁLCICO

En este segundo caso se procede de la misma manera que en el primero, es decir, se va a sacar la relación másica entre el DREWBROM y el hipoclorito cálcico.

Los datos de partida son los siguientes:

- El % de NaBr sobre el DREWBROM es de un 40 % en peso.
- El porcentaje de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ es de un 70 % de pureza en cloro activo.
- Los pesos moleculares del $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ y NaBr son 143 y 102,9 g/mol respectivamente.
- La reacción para calcular la relación de pesos es la siguiente:

Reacción 21



que equivale a la reacción 20.

- 1 Kg de DREWBROM contiene 400 g de NaBr lo que corresponde a:

$$\text{Moles NaBr} = \frac{400}{102,9} = \underline{3,88 \text{ moles de NaBr}}$$

- 3,88 moles de NaBr reaccionan con la mitad de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ según la reacción 21, lo que suponen:

$$3,88 \times 0,5 = \underline{1,94 \text{ moles de Ca}(\text{ClO})_2} \quad (\text{ec.8})$$



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



$$1,94 \times 143 (\text{gramos/mol}) = \underline{277,42 \text{ g de Ca} (\text{ClO})_2} \quad (\text{ec.9})$$

Como el hipoclorito cálcico que se utiliza es al 70 % en pureza:

$$\frac{277,42 \times 100}{70} = 396,31 \text{ gramos de Ca} (\text{ClO})_2 \quad (\text{ec.10})$$

- En resumen la relación en peso DREWBROM/HIPOCLORITO CÁLCICO :

$$\underline{1:0,396}$$

Esta relación podrá variar dependiendo del porcentaje de disolución que se prepare ya que en este caso la relación másica se refiere exclusivamente al hipoclorito cálcico sólido y no a ninguna disolución preparada como ocurre en el caso anterior.



3.4.2 PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES DESINFECTANTES

▪ PREPARACIÓN HIPOCLORITO SÓDICO + DREWBROM

Para la preparación de esta disolución se respeta la relación en peso 1:3 entre la sal de bromo y el hipoclorito sódico comercial al 13 %.

De tal modo que se pesan 30 gramos de solución de hipoclorito sódico y 10 gramos de sal de bromo. El hipoclorito sódico se adquirió comercialmente al 13 % tal y como se observa en la figura 16 por lo que no tuvo que prepararse solución alguna.

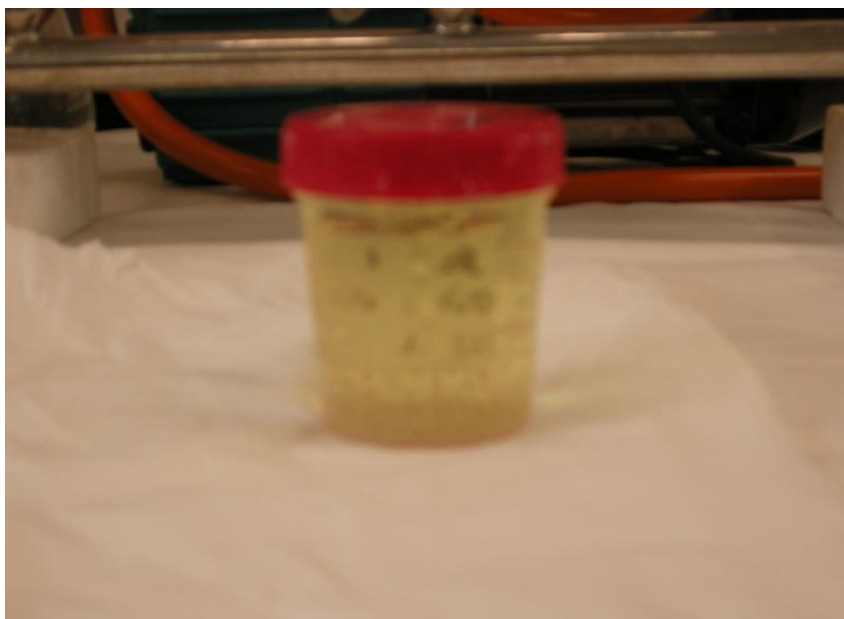


Figura 16. Hipoclorito sódico al 13%



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Los pesos que se obtuvieron experimentalmente fueron los que se expresan en la tabla 8.

Tabla 8. Pesos experimentales de laboratorio

	HIP.SÓDICO	DREWBROM
PESO(GRAMOS)	30,0285	10,0186

Una vez hecha la disolución se sometió a agitación para favorecer la mezcla y mejorar la homogeneidad, de esta forma se evita que haya concentraciones puntuales mayores o menores que pueden dar un resultado anómalo. El tiempo de agitación se mantuvo durante 15 minutos, tiempo más que suficiente para que reaccione el hipoclorito sódico con la sal de bromo y se obtenga el HBrO . La muestra obtenida se almacenó en un recipiente opaco para protegerlo de la luz y evitar la descomposición, así como en un lugar fresco.

▪ PREPARACIÓN HIPOCLORITO CÁLCICO + DREWBROM

De la misma forma que en el caso anterior se preparó la disolución resultante de mezclar hipoclorito cálcico y la sal de bromo. En este caso la preparación de la mezcla difiere de la anterior, ya que no se tiene ninguna disolución de hipoclorito cálcico comercial y por lo tanto hay que prepararla en el laboratorio.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Se parte de hipoclorito cálcico comercial del 70 % de pureza en forma de pastillas tal y como se informa en la ficha de seguridad del producto suministrada por el fabricante.

En la figura 17 se observa la pastilla de donde se obtuvo el hipoclorito cálcico para realizar la disolución. Las pastillas tienen un peso entorno a los 22 gramos.



Figura 17. Pastilla de hipoclorito cálcico

Para facilitar la disolución del hipoclorito cálcico no se utilizó toda la pastilla, si no parte de ella. De esta manera el sólido queda perfectamente disuelto en el agua utilizada. Como la sal de bromo que se facilitó para hacer el ensayo era poca, exactamente 50 gramos, se trabajó con poca cantidad de ella como en el caso anterior, pero manteniendo la relación estequiométrica entre la sal y la disolución de hipoclorito cálcico.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Como la relación de sal de bromo e hipoclorito sódico utilizada es 1:3 se va a utilizar la misma relación para este segundo caso con el fin de utilizar la misma cantidad a introducir de ambas sustancias en sus respectivos ensayos. De esta manera cogiendo el mismo volumen o el mismo peso se asegura que se introduce la misma cantidad de desinfectante para cada ensayo.

Se recuerda que la relación sal de bromo e hipoclorito cálcico es 1: 0,396 en peso, por lo tanto hay que encontrar una disolución de hipoclorito cálcico que teniendo 0,396 gramos de soluto pese 3 kilogramos.

$$\frac{0,396}{3} \times 100 = 13,21 \% = \text{Porcentaje dis.hip.cálcico} \quad (\text{ec.12})$$

Por lo tanto se necesita preparar una disolución del 13,21 % en peso de hipoclorito cálcico para utilizar la misma relación de *sal/hipoclorito* en ambos ensayos.

De las pastillas de hipoclorito cálcico se obtienen 10,1652 gramos para preparar la disolución al 13,21 %.El agua que se tiene que echar para su obtención es:

$$\frac{(100-13,21) \times 10,1652}{13,21} = 66,7855 \text{ gramos de agua} \quad (\text{ec.13})$$



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Como se tienen las cantidades necesarias para preparar la disolución de hipoclorito cálcico se procedió a realizar la mezcla. Las cantidades de cada sustancia se detallan en la tabla 9.

Tabla 9. Pesos experimentales de laboratorio

	HIP.CÁLCICO (SÓLIDO)	AGUA	DIS.HIP.CÁLCICO PARA MEZCLAR	DREWBROM
PESO(GRAMOS)	10,1652	66,7446	30,1764	10,1652

En primer lugar, y en un vaso de precipitados se introdujo el hipoclorito cálcico y el agua, se le introdujo un agitador magnético y se mantuvo así 10 minutos, tiempo suficiente para disolver todo el hipoclorito en agua tal y como se observa en la figura 18.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Figura 18. Disolución hipoclorito cálcico al 13,2 %.

Posteriormente se echó la sal de bromo obtenida de la figura 19 junto con la disolución de hipoclorito cálcico en las cantidades que se muestran en la tabla 9. Al igual que en el caso anterior se mantuvo en agitación durante 15 minutos para asegurar una mezcla homogénea. Finalmente se guardó en un recipiente opaco y en ambiente fresco para protegerlo de la luz del sol y de cualquier tipo de temperatura elevada. De este modo, quedan preparados los dos desinfectantes, uno a partir de hipoclorito sódico y otro a partir de hipoclorito cálcico.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM

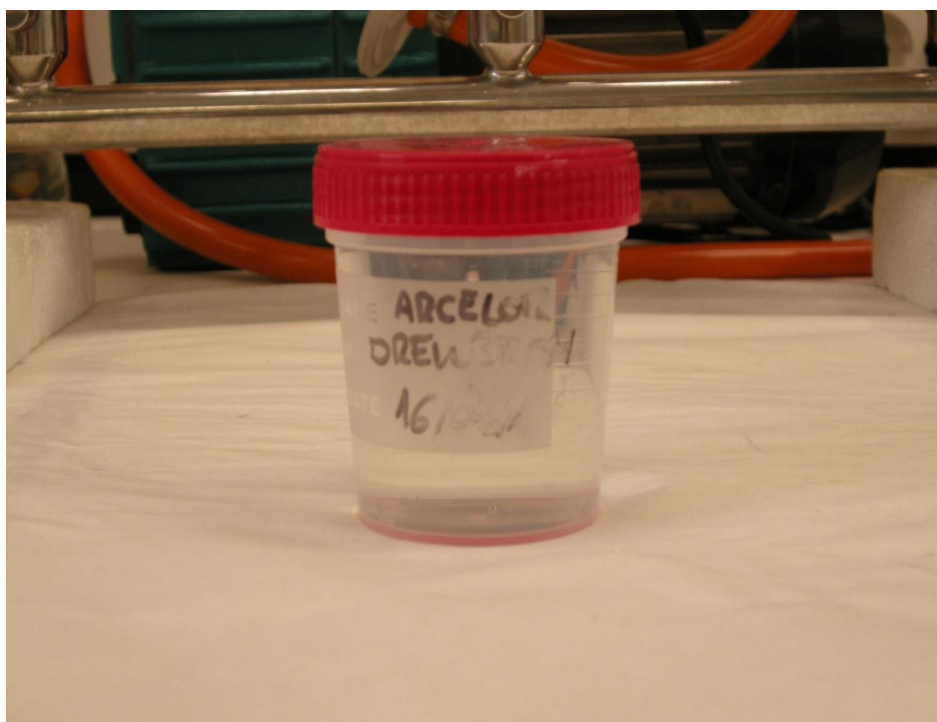


Figura 19. Muestra de sal de bromo utilizada.(DREWBROM)

Por otro lado, para comparar la eficacia de ambas disoluciones de hipoclorito, se guardaron para analizar su comportamiento pasados 15 días después de su preparación. Del mismo modo que en el ensayo anterior, se adicionó sal de bromo a cada disolución de hipoclorito para preparar el desinfectante. Los pesos de cada disolución para preparar el desinfectante aparecen en la tabla 10.



Tabla 10. Pesos experimentales de laboratorio

	DIS.HIP.CÁLCICO PARA MEZCLAR	DREWBROM	DIS.HIP. SÓDICO PARA MEZCLAR	DREWBROM
PESO (GR)	30,1520	10,1572	30,0987	10,1236

3.4.3 ENSAYOS DE DESINFECCIÓN

Para hacer el ensayo se dispuso de muestras de agua de la empresa en cuestión, concretamente 30 litros de agua. Se pensó en echar 15 ppm de cada desinfectante en sus respectivos ensayos, con lo cual era necesario 15 mg/l, cantidad que no se podía medir en el laboratorio. Esta cantidad es suficiente para dejar bromo residual libre medible en el agua tal y como se ha explicado en el ensayo de demanda de bromo. (Apartado 3.2)

Esta problemática se resolvió utilizando volúmenes más grandes de agua para poder medir el desinfectante a utilizar. Se utilizaron dos recipientes de 15 litros cada uno, con lo que se pasó de medir 15 mg de desinfectante a 0,2250 gramos tal y como se expresa en la ecuación 14.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



$$15 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times 15 \text{ l} = 225 \text{ mg} = 0,2250 \text{ gramos de desinfectante} \quad (\text{ec.14})$$

Se procedió a echar 0,2250 gramos de desinfectante formado a partir de hipoclorito sódico en 15 litros de agua a tratar, y lo mismo se hizo con la disolución desinfectante obtenida con hipoclorito cálcico en otros 15 litros de agua a tratar. Se mantuvieron en agitación durante 15 minutos y se procedió a medir los residuales de bromo en ambos recipientes. Las cantidades exactas de desinfectante inyectado se muestran en la tabla 11. Posteriormente se toman muestras del agua tratada y se mide la cantidad de bromo residual que queda en uno y otro recipiente para poder comparar los resultados obtenidos.

Tabla 11. Cantidades desinfectante inyectadas

	DESINFECTANTE 1 HIPO.SÓDICO+DREWBROM	DESINFECTANTE 2 HIPO.CÁLCICO+DREWBROM
PESO(gramos)	0,2281	0,2334

El procedimiento consiste en obtener una muestra del agua tratada con el desinfectante para llenar las cubetas que se muestran en la figura 20. Una vez llenas se les dosifica los reactivos que vienen almacenados en sobres que se muestran en la figura 21 y que son los necesarios para llevar el proceso mediante el procedimiento DPD. Este reactivo está formado por N, N-dietil-1,4-fenilendiamina (1%), tampones, yoduro de potasio (25%) y estabilizadores.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Se agita bien para tener una buena mezcla y se observa que no queden burbujas dentro del recipiente y que puede llevar a errores en las medidas. La cubeta adquiere un cierto color rosa-rojizo y es en función de su color como se determina si hay más o menos cantidad de bromo residual en el agua.

El DPD es el método de determinación de bromo residual que se usa en el experimento, y es el mismo que se usa para la determinación de cloro residual. La información del método se puede encontrar en la norma UNE-EN ISO 7393-1.

Antes de añadir el primer sobre en la primera muestra se procede a la medición del blanco, es decir, la cubeta se llena únicamente de agua con desinfectante, sin añadir los reactivos que vienen en el sobre. Una vez se tiene el blanco se procede a la medición de muestras. Se agita bien para tener una buena mezcla entre el agua y los reactivos del sobre y se inserta la cubeta en el fotómetro. A los 2'30" aparece en la pantalla del fotómetro una medida directa en ppm del bromo libre residual de la muestra.

Para realizar el ensayo a los 15 días de la preparación de las sales de hipoclorito, se procedió de forma similar. Se dispuso de la misma cantidad de agua a tratar, es decir, dos recipientes de 15 litros a los que se adicionó las cantidades de desinfectante que aparecen en la tabla 12. Se agitan bien ambos recipientes para que actúe de manera correcta el desinfectante y se procede a la toma de muestras.



Tabla 12. Cantidades desinfectante inyectadas 15 días

	DESINFECTANTE 1 HIPO.SÓDICO+DREWBROM	DESINFECTANTE 2 HIPO.CÁLCICO+DREWBROM
PESO(gramos)	0,2196	0,2289

Como se ha explicado anteriormente se hace un blanco del agua con el desinfectante sin adicionar los reactivos del DPD. Una vez tomado el blanco se echan los reactivos contenidos en el sobre y se procede a la toma de muestras, primero con el hipoclorito sódico y posteriormente con el hipoclorito cálcico.

3.5 MEDICIÓN DEL BROMO RESIDUAL

3.5.1 EQUIPO UTILIZADO

El método de medición que se utilizó consiste en un fotómetro portátil HANNA 93716 que está basado en determinación colorimétrica y que se puede observar en la figura 20. Este fotómetro mide la cantidad de bromo en agua y agua residual en el rango de 0,00 a 8,00 ppm. El método en concreto es una adaptación al método DPD que se utiliza para la determinación de cloro residual y que consiste en la adición de unos reactivos en polvo que son oxidados por el agente oxidante, en este caso el bromo. La cantidad de reactivos es dosificada para asegurar la máxima reproducibilidad. Dependiendo de la cantidad de bromo que haya el agua toma un color más o menos rojizo, y en función de ese color, el fotómetro determina la cantidad de bromo residual previa medición de un blanco.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Figura 20. Fotómetro Hanna

Las especificaciones técnicas del fotómetro son las siguientes:

Rango: 0,00 a 8,00 mg/l

Resolución: 0,01 mg/l

Precisión: $\pm 0,08$ mg/l $\pm 3\%$ de lectura

Fuente de luz: Diodo emisor de luz a 555 nm

Método: método DPD. La reacción entre los reactivos y la muestra causan un tinte rosa en la muestra.

Detector de luz: fotocélula de silicio



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Ambiente: de 0 a 50°C

Autoapagado: tras 10' de no uso

Dimensiones: 180 x 83 x 46 mm

Peso: 290 gramos.

Cubetas de vidrio: 10 ml

En la figura 21 se muestra el sobre que contiene los reactivos para realizar los ensayos.



Figura 21. Reactivos para determinación de bromo residual



3.5.2 RESULTADOS OBTENIDOS

➤ BROMO RESIDUAL CON DISOLUCIONES RECIENTES

Los resultados obtenidos en los diferentes ensayos se muestran a continuación. En primer lugar se observa la figura 22, donde se realizaron 18 tomas de agua con sus consiguientes mediciones de bromo residual. Los resultados de las muestras fueron tomados de la misma agua y cada muestra se tomó cada cuatro minutos.

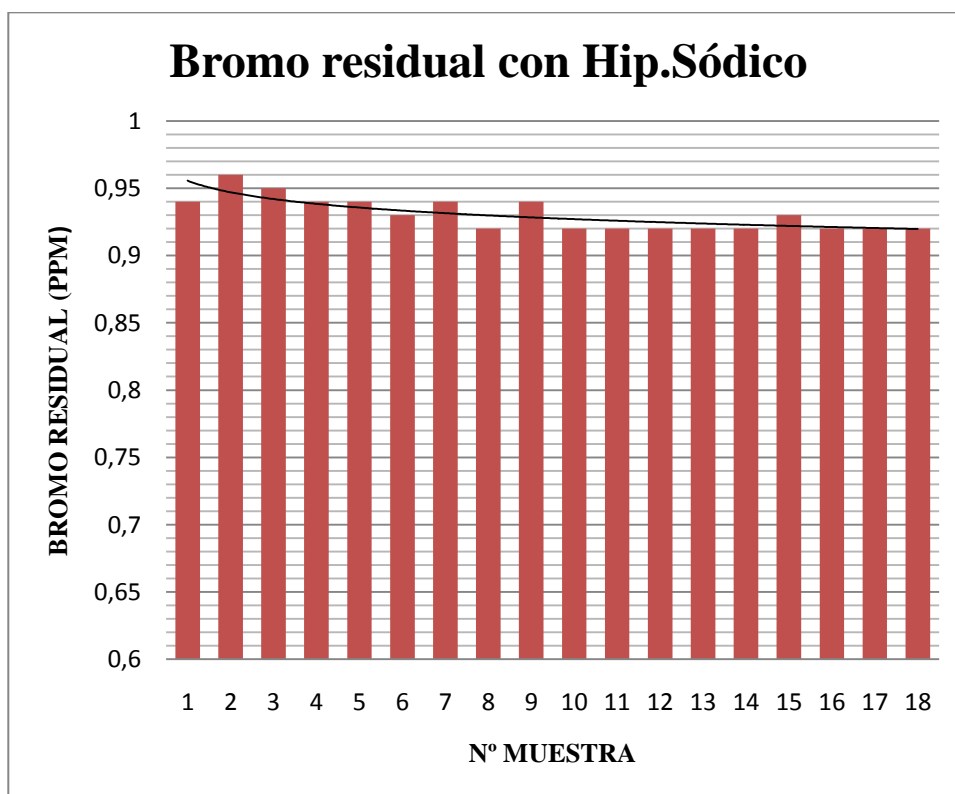


Figura 22. Bromo residual en muestras hip.sódico



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Como se observa en la figura 22, el residual obtenido para todas las muestras analizadas es prácticamente el mismo, salvo pequeñas diferencias que se puede deber a una mala toma de muestra o a alguna burbuja que quedase en la cubeta. De cualquier forma la diferencia del bromo medido entre las muestras es mínima y se observa que se estabiliza su valor en 0,90 ppm. Para este ensayo se usó hipoclorito sódico al 13 % recién adquirido de fábrica para preparar la disolución desinfectante.

Posteriormente se repitió el procedimiento, pero esta vez, utilizando hipoclorito cálcico para preparar la disolución desinfectante. Para este ensayo se usó una disolución de hipoclorito cálcico al 13,2 % preparada en el laboratorio.

Se realizaron 18 tomas de agua con sus respectivas mediciones de bromo residual. Los valores obtenidos son muy parecidos a los conseguidos con el hipoclorito sódico y su similitud se puede apreciar en la figura 23, donde vienen agrupadas las diferentes muestras de agua tratadas con su respectivo desinfectante.

Como en el caso anterior, las muestras fueron tomadas del misma agua y cada cuatro minutos una a continuación de otra.

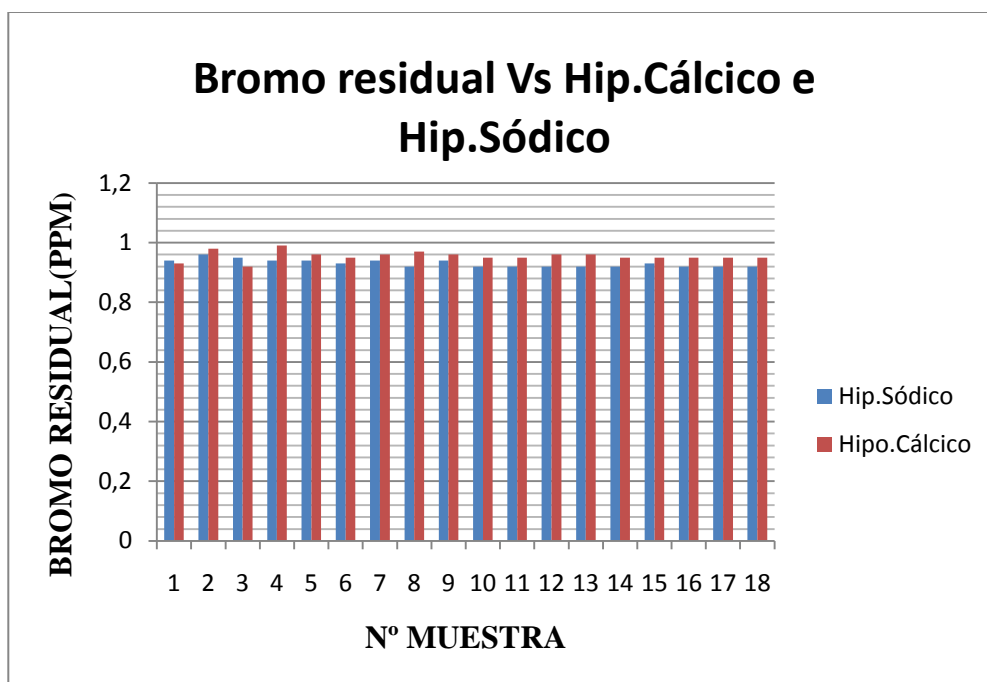


Figura 23. Comparación hip.sódico y cálcico

Tal como se aprecia en la figura 23, la diferencia entre ambos desinfectantes utilizados es prácticamente nula por lo que el ensayo se puede considerar positivo. De hecho, el hipoclorito cálcico deja un mayor valor de bromo residual libre, en parte debido a que el hipoclorito sódico empieza a degradarse desde que sale de su proceso de fabricación. También se debe, a que para preparar la disolución desinfectante se cogió un poco más de sal de bromo que en el caso del hipoclorito de sodio y por lo tanto se puede formar más HBrO en disolución, pero es casi insignificante para el volumen tratado.



➤ **BROMO RESIDUAL CON SALES DEPUES DE 15 DÍAS**

Tal como se ha comentado anteriormente, uno de los inconvenientes del hipoclorito sódico es su rápida degradación disminuyendo la cantidad de cloro activo que reacciona con la sal de bromo. Debido a esto, se ha estudiado cómo afecta el paso del tiempo a una y otro sal para preparar la disolución desinfectante para comprobar la mayor estabilidad del hipoclorito cálcico.

Después de 15 días desde la preparación de ambas disoluciones se procede a la realización del ensayo con ambos desinfectantes. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

En la figura 24 se compara como varía la cantidad de bromo residual libre del hipoclorito sódico utilizando disoluciones desinfectantes recién elaboradas o cuando ya tienen 15 días.

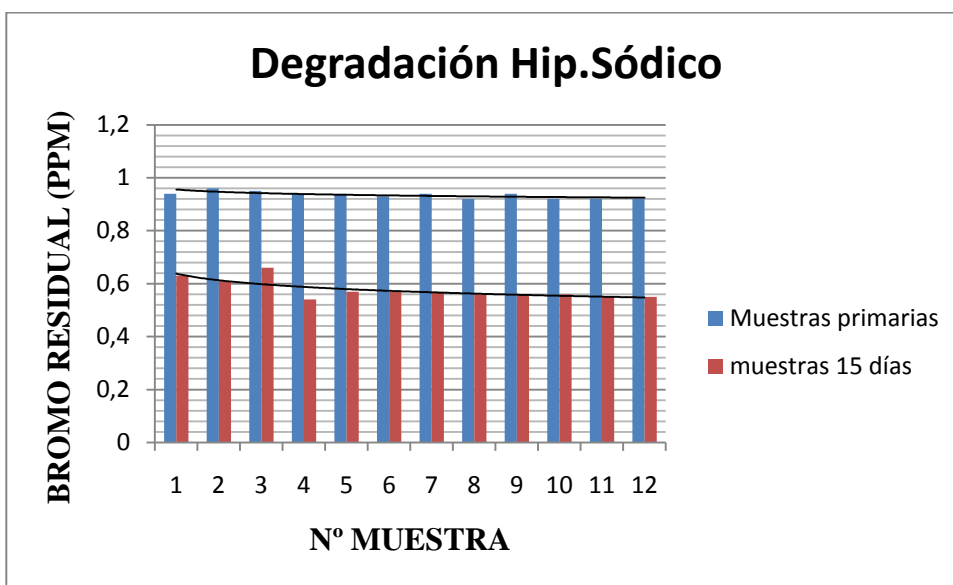


Figura 24. Degradación de Hip.Sódico a los 15 días



En la figura 24, se observa como al utilizar NaClO , se produce una disminución importante del bromo residual libre si se utiliza disolución desinfectante de 15 días de antigüedad.

Este ensayo demuestra la gran desventaja de la utilización de hipoclorito sódico, cosa que no ocurre con la utilización del hipoclorito cálcico tal y como se observa en la figura 25.

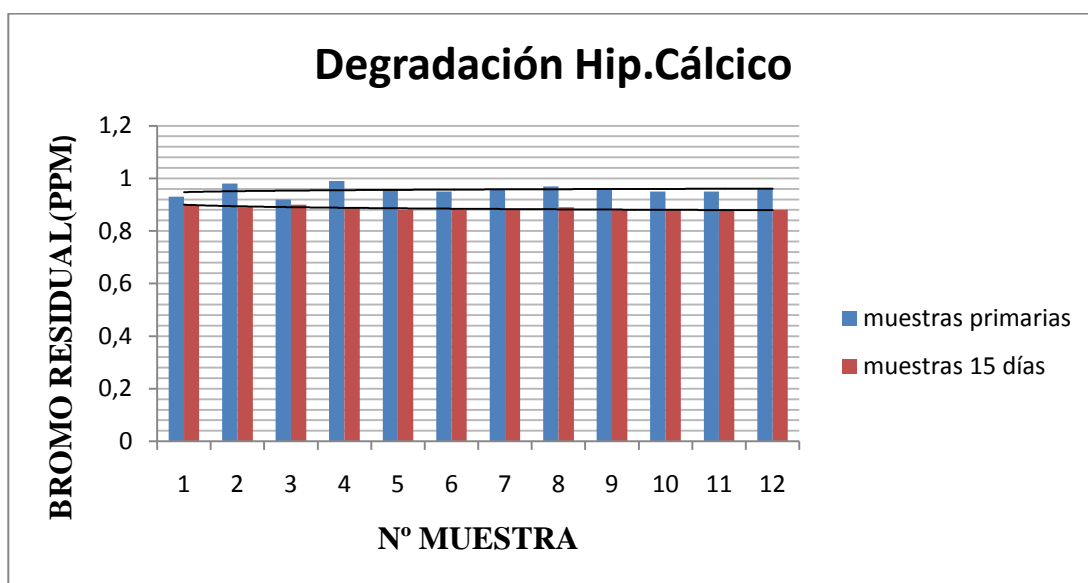


Figura 25. Degradación de Hip.Cálcico a los 15 días

La degradación del hipoclorito cálcico es menor que la del sódico, y como se muestra en la figura 25 se puede decir que la efectividad del hipoclorito cálcico es casi la misma 15 días después de su preparación. La presencia de casi la misma



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



cantidad de hipoclorito cálcico pasados 15 días garantiza que se pueda almacenar la disolución previa preparación.

Para observar mejor los residuales de ambos desinfectantes al cabo de 15 días se muestra la figura 26.

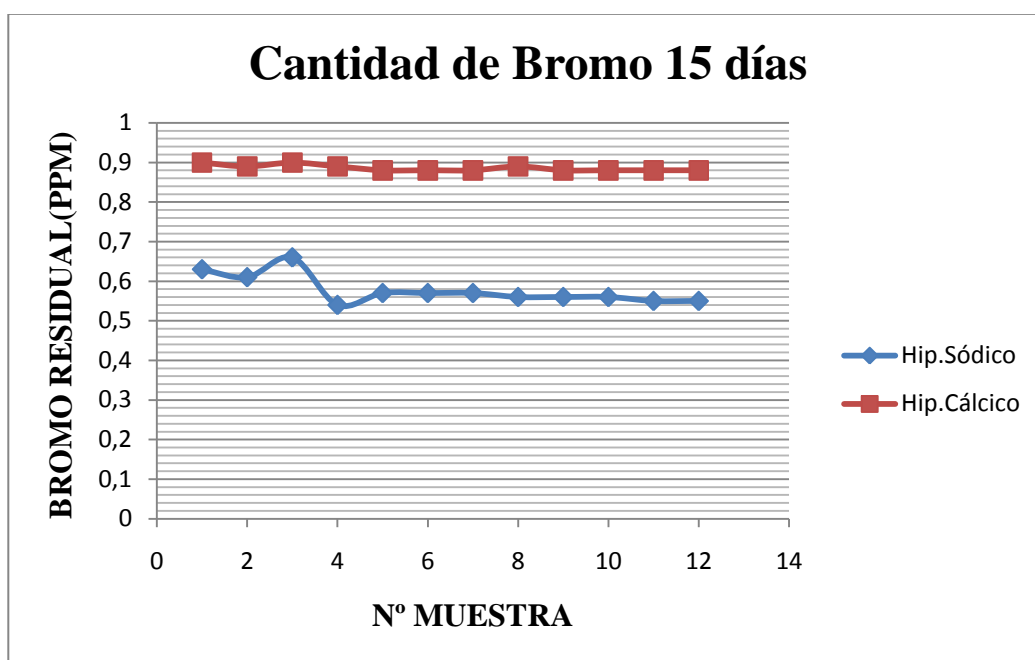


Figura 26. Residual de bromo libre a los 15 días

Como se observa en la figura al cabo de 15 días la cantidad de bromo residual libre apto para desinfectar es mayor en el caso del hipoclorito cálcico que en el sódico. Esto supone que la utilización del hipoclorito cálcico es mucho mejor en términos de rendimiento y económicos que la del hipoclorito sódico.

La degradación de hipoclorito sódico produce cloruro de sodio y clorato de sodio y tiene dos vías de inicio. La primera es la descomposición del hipoclorito por formación de cloratos y la segunda es la descomposición por concentración donde interviene la concentración inicial, el pH y la temperatura.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Si este deterioro del hipoclorito sódico ha tenido lugar en tan sólo 15 días es fácil suponer que el almacenamiento del mismo durante más tiempo tendrá un resultado nefasto para la empresa consumidora. De este modo se ha comprobado, que empresas que adquieren hipoclorito sódico para desinfectar, en muchas ocasiones tienen que desechar el producto por su rápida degradación y por lo tanto es un gasto extra e inútil. De este modo parece que la alternativa del hipoclorito cálcico es muy interesante.

3.6 ESTUDIO ECONÓMICO

A continuación se pasa a estudiar el coste que supone la utilización de una y otra sal para la preparación del desinfectante. Como los cálculos se realizan para un periodo de un año.

Como dato inicial se tiene la cantidad de agua procedente de las torres de refrigeración al día.

$$Q = 200 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} = 200.000 \frac{\text{l}}{\text{día}} \quad (\text{ec.15})$$

Se decide utilizar 15 ppm de desinfectante, es decir, la misma cantidad que se utilizó en los ensayos de laboratorio.

$$200.000 \frac{\text{l}}{\text{día}} \times 15 \frac{\text{mg}}{\text{l}} = 3.000.000 \frac{\text{mg}}{\text{día}} = 3 \frac{\text{kg}}{\text{día}} = 21 \frac{\text{kg}}{\text{semana}} \text{ desinfectante} \quad (\text{ec.16})$$

Como la relación másica de hipoclorito/sal de bromo es de 3:1 la cantidad de uno y otro producto es:

❖ SAL DE BROMO

$$3 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 0,25 = 0,75 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \text{ de sal de bromo} \times 7 \frac{\text{día}}{\text{semana}} = 5,25 \frac{\text{kg}}{\text{semana}} \quad (\text{ec.17})$$



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



❖ DISOLUCIÓN DE HIPOCLORITO CÁLCICO

$$3 \frac{\text{kg}}{\text{dia}} \times 0,75 = 2,25 \frac{\text{kg}}{\text{dia}} \text{ dis. hipoclorito} \times 7 \frac{\text{dia}}{\text{semana}} = 15,75 \frac{\text{kg}}{\text{semana}} \quad (\text{ec.18})$$

Como la disolución, en el caso del hipoclorito cálcico hay que prepararla se necesita saber la cantidad de agua y sólido que hay que añadir.

$$15,75 \frac{\text{kg}}{\text{semana}} \times 0,132 = 2,079 \text{ kg de hipoclorito cálcico sólido/semana} \quad (\text{ec.19})$$

$$15,75 \frac{\text{kg}}{\text{semana}} \times 0,868 = 13,671 \text{ kg de agua destilada/semana} \quad (\text{ec.20})$$

Los precios de los distintos productos aparecen en la tabla 13.

Tabla 13. Precios de productos para desinfección

PRODUCTO	PRECIO (€/KG)
HIP.SÓDICO 13 %	0,32
HIP.CÁLCICO SÓLIDO	2,20
SAL DE BROMO	4,90
AGUA DESTILADA	0,20



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



En primer lugar se estudia el precio que cuesta la utilización de todos los productos que se van a usar durante un año. Para ello se adjunta la tabla 14.

Tabla 14. Precio de productos desinfección durante un año

PRODUCTO	PRECIO (€/año)
HIP.SÓDICO 13 %	$15,75 \frac{\text{kg}}{\text{semana}} \times 52 \frac{\text{semana}}{\text{año}} \times 0,32 \frac{\text{€}}{\text{kg}} = 262,08 \text{ €}$
HIP.CÁLCICO SÓLIDO	$2,079 \frac{\text{kg}}{\text{semana}} \times 52 \frac{\text{semana}}{\text{año}} \times 2,20 \frac{\text{€}}{\text{kg}} = 236,69 \text{ €}$
SAL DE BROMO	$5,25 \frac{\text{kg}}{\text{semana}} \times 52 \frac{\text{semana}}{\text{año}} \times 4,9 \frac{\text{€}}{\text{kg}} = 1.337,70 \text{ €}$
AGUA DESTILADA	$13,67 \frac{\text{kg}}{\text{semana}} \times 52 \frac{\text{semana}}{\text{año}} \times 0,2 \frac{\text{€}}{\text{kg}} = 142,16 \text{ €}$

Ahora que están los precios individuales desglosados se procede a la comparación de los dos desinfectantes, para ello se adjunta la tabla 15.



**Desinfección de agua de torres de refrigeración
con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM**



Tabla 15. Comparativa de precio de los desinfectantes

PRODUCTO	PRECIO (€/año)	PRECIO FINAL (€/año)
HIP.SÓDICO 13 %	262,08	1.599,78
SAL DE BROMO	1.337,70	
HIP.CÁLCICO SÓLIDO	236,69	1.716,55
SAL DE BROMO	1.337,70	
AGUA DESTILADA	142,16	

Como se observa en la tabla 15 la diferencia entre las dos opciones no es muy grande. Los resultados se han obtenido tomándose como punto de partida dos disoluciones de hipoclorito al 13 %. Si se quisiese recortar el gasto en la producción de hipoclorito cálcico bastaría con concentrarla más mediante la adición de menos agua y pasar de una disolución del 13 al 25 %. De este modo la cantidad de agua que se utilizaría sería la expuesta en la ecuación 21.



**Desinfección de agua de torres de refrigeración
con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM**



$$\frac{2,079 \times 75\%}{25\%} = 6,237 \text{ kg de agua/semana} \quad (\text{ec.21})$$

Ahora el precio de agua al año se reduce, de tal modo que cuesta:

$$6,237 \frac{\text{kg}}{\text{semana}} \times 52 \frac{\text{semana}}{\text{año}} \times 0,2 \frac{\text{€}}{\text{kg}} = 64,86 \text{ €} \quad (\text{ec.22})$$

Finalmente como se observa en la tabla 16 se ha reducido la diferencia en la utilización de ambos desinfectantes hasta tal punto de ser casi despreciable.

Tabla 16. Precio final de desinfectantes

PRODUCTO	PRECIO (€/año)	PRECIO FINAL (€/año)
HIP.SÓDICO 13 %	262,08	1.599,78
SAL DE BROMO	1.337,70	
HIP.CÁLCICO SÓLIDO	236,69	1.639,25
SAL DE BROMO	1.337,70	
AGUA DESTILADA	64,86	



3.7 CONCLUSIONES

Las conclusiones que se extraen del proyecto son varias, pero la más importante es la viabilidad de la alternativa propuesta en el mismo.

Se planteó en origen la utilización de una disolución de hipoclorito cálcico en lugar de hipoclorito sódico por las ventajas expuestas durante el proyecto, y se puede decir que su utilización es plenamente viable.

Los datos que se extraen de las gráficas demuestran que la utilización de hipoclorito cálcico deja una cantidad igual o incluso superior de bromo residual libre utilizando la misma cantidad de sal de bromo e hipoclorito en ambos ensayos..

Otro de los puntos de interés que se derivan de los ensayos es la diferencia que hay en términos de bromo residual utilizando una y otra disolución desinfectante. Mientras que la disolución desinfectante que utiliza hipoclorito cálcico muestra valores muy próximos en un periodo de 15 días, la disolución que utiliza hipoclorito sódico no se comporta del mismo modo.

Tal es así, que los valores residuales de bromo disminuyen considerablemente. Este suceso explica que el hipoclorito sódico que se utiliza para la desinfección ha sufrido una degradación importante, y por lo tanto se requiere más cantidad para conseguir los mismos valores de origen..

Otra de las ventajas del hipoclorito cálcico es el ahorro en peso que puede suponer su utilización. El acceso a las torres de refrigeración para adicionar el desinfectante es comprometido, por lo que cualquier facilidad en el ahorro de peso para su manipulación es primordial. De este modo, utilizando una disolución al 25 % de hipoclorito cálcico se ahorra la mitad de peso para manejar la misma cantidad de desinfectante.



4. DISEÑO DE LA PLANTA PRODUCCION DESINFECTANTE

4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA

Uno de los aspectos más interesantes del proyecto consiste en idear un sistema capaz de trabajar en automático y que sea capaz de controlar los niveles óptimos de bromo residual. De este modo se pensó en el sistema que se muestra en la figura 29 y que se pasa a detallar.

Se va a utilizar hipoclorito cálcico para preparar la disolución desinfectante tal y como se realizó en los ensayos de laboratorio (apartado 3). Para ello se dispone de diferentes equipos para poder tomar muestras, analizar e inyectar la disolución desinfectante preparada.

En primer lugar se ha de tener una tolva o depósito almacenador del hipoclorito cálcico granulado, el cual esté perfectamente aislado del exterior para evitar la absorción de agua o cualquier modificación del producto por la luz o la temperatura. Esto permite tener el producto en las mejores condiciones para preparar la disolución de hipoclorito cálcico. La tolva tiene una capacidad de 250 litros y está fabricada en polietileno. El llenado de la tolva se produce de manera manual.

En segundo lugar se tiene un depósito de agua destilada de 700 litros y fabricado en poliuretano disponible para llenar un agitador que será el lugar de mezcla donde se produzca la disolución desinfectante. Y en tercer lugar se tiene otro depósito donde se guarda la sal de bromo y que será la que produzca el desinfectante deseado. Este depósito tiene una capacidad de 250 litros y está fabricado en poliuretano.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Todos los reactivos son mezclados en el agitador que tienen a continuación por un periodo de tiempo de 10 minutos, pasado el cual, se tiene una disolución desinfectante lista para inyectar. Para asegurarse de que el proceso es continuo se va a disponer de un último depósito de almacenamiento de desinfectante de 50 litros de capacidad y en poliuretano, del cual se va inyectar la cantidad necesaria de bromo en función de la demanda del sistema.

El agitador es de la marca VENETO y está capacitado para dar 940 revoluciones por minuto. Su hélice y soporte están fabricados en polipropileno para evitar cualquier tipo de oxidación del material por parte del agente oxidante (hipoclorito).

Hay dos equipos de suma importancia en el sistema, el primero es el autómata y el segundo la sonda de bromo residual.

El autómata es un equipo electrónico programable y diseñado para controlar, en tiempo real y en ambiente industrial, procesos secuenciales. Es decir, va a ser el dispositivo que va a regir el proceso completo que va, desde llenado de tanques con agua, apertura de la tolva, como puesta en marcha del agitador. Se puede decir por lo tanto que es la herramienta más importante del proceso.

Por otro lado se tiene la sonda de bromo residual. Es un dispositivo que mide en continuo la cantidad de bromo residual libre que permanece en el agua, y por tanto en función de ese parámetro se pondrán o no en marcha los equipos.

A continuación se pasa a explicar de forma más detallada el funcionamiento del proceso.

De forma normal la sonda de bromo toma muestras del agua procedente de las torres de refrigeración mediante un colector que está unido a la tubería de la torre de refrigeración. Ningún equipo se pone en marcha a menos que el valor de bromo



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



residual esté por debajo de la consigna introducida. Si es así, la sonda manda una señal eléctrica al automático, el cual se encarga de poner en funcionamiento la bomba dosificadora que está a la salida del depósito número 6. Se deja de adicionar desinfectante hasta que se llega al límite superior de la consigna introducida. En ese momento el automático para la bomba dosificadora.

Tanto el depósito número 5, como el número 6 llevan una sonda de nivel que indica en todo momento el llenado del depósito. También llevan una sonda de nivel los depósitos 3 y cuatro, pero en este caso sólo indican cuando llegan al nivel mínimo ya que su llenado es manual y por lo tanto no están automatizados.

De la misma forma que estos depósitos llevan sondas de nivel, la tolva lleva una alarma de peso mínimo que indica la necesidad de adicionar más hipoclorito cálcico granulado. La elección de hipoclorito granulado se debe a que su disolución se ve más favorecida que en el caso de que se optase por otros productos como pastillas.

Se ha explicado el funcionamiento más habitual del sistema que está basado en la inyección de desinfectante cuando el depósito está lleno. Pero, ¿qué ocurre cuando el depósito llega a su nivel mínimo?

La sonda de nivel manda una señal al automático, que pone en funcionamiento todo el sistema. Es ahora cuando tiene que poner en marcha el agitador para preparar más disolución, y por lo tanto gestionar el llenado del mismo a través de los diferentes depósitos donde se encuentran los reactivos.

Primero se introduce la cantidad necesaria de agua mediante una bomba dosificadora colocada a la salida del depósito de agua destilada. En este caso se introduce el agua necesaria para preparar la disolución que queremos. La sonda de



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



nivel manda una señal al autómata cuando detecta que el agua ha llegado a su nivel y para la bomba de llenado de agua.

A continuación se pone en marcha el tornillo sinfín que introduce de manera precisa la cantidad de sólido necesaria. Por cada vuelta que da el tornillo se introduce una cantidad fija de sólido por lo que se programa el número de vueltas necesarias para extraer la cantidad justa de sólido.

Una vez que se tienen los reactivos para preparar la disolución de hipoclorito se pone en marcha el agitador durante 10 minutos, tiempo suficiente para disolver el sólido. Pasado este tiempo el autómata manda una señal a la bomba dosificadora de sal de bromo para proceder a su descarga. Igual que anteriormente una vez que se llega al nivel programado en la sonda de nivel se para la bomba dosificadora.

Esta disolución se mantiene 3 minutos en agitación y se descarga el desinfectante formado al depósito 6 mediante una bomba dosificadora. Ya se tiene el desinfectante listo para utilizar en la desinfección de las torres de refrigeración.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM

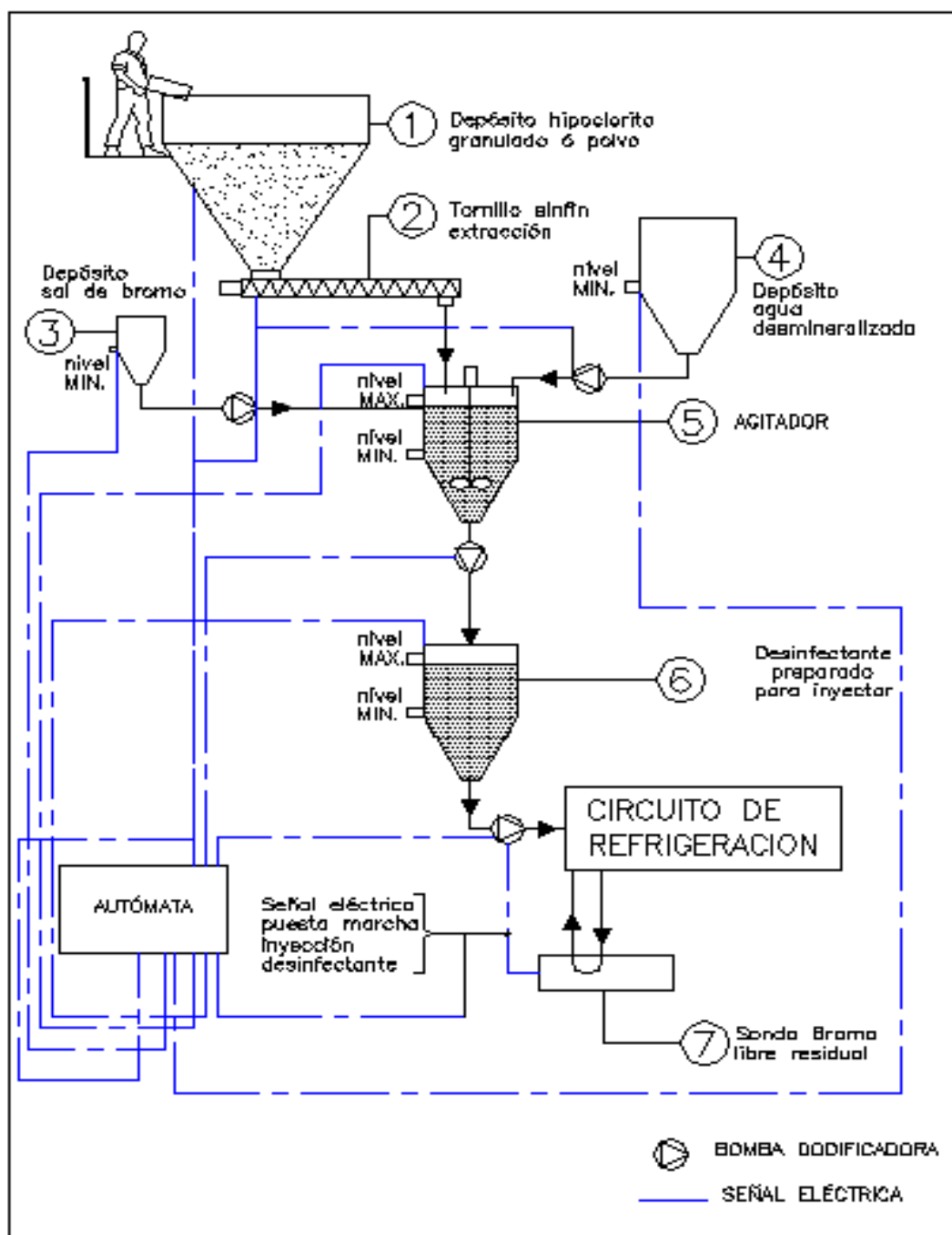


Figura 29. Proceso automatizado de desinfección



4.1.1 DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS

Como ya se tienen los caudales que se necesita de cada bomba se pasa a describir cada una de ellas y el resto de accesorios. Las bombas utilizadas para el depósito de sal de bromo, agua destilada y agitador son bombas dosificadoras de diafragma ya que permiten utilizar un mayor caudal y por lo tanto se minimiza el tiempo de llenado, mientras que la bomba que inyecta desinfectante al sistema es una bomba dosificadora electrónica diseñada para la inyección de pequeñas cantidades de líquido.

La elección de los materiales se ha hecho por catálogo suministrado por la empresa BOMBAS VENETO, S.L y se decidió proceder de esta manera porque disponía de todos los productos necesarios, así como la facilidad que se tenía para conseguir documentación técnica y presupuestos.

▪ BOMBA DOSIFICADORA DE SAL DE BROMO

$$\text{Aquí se necesita un } Q = 2 \frac{1}{\text{min}} = 120 \frac{1}{\text{h}}$$

La bomba seleccionada es una bomba dosificadora de membrana VENETO modelo **DRM-10-70B** capacitada para dar un caudal de 124 l/h.

➤ CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

- Cabezal en PVC en polipropileno.
- Cuerpo cárter en aluminio



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



- Membrana en PTFE de gran espesor.
- Doble válvula de esfera en Pyrex.
- Motor cerrado, protección IP-44, ventilación exterior, servicio continuo, aislamiento clase F, los monofásicos incorporan condensador y motoprotector amperimétrico.

La bomba dosificadora de membrana se puede observar en la figura 27.



Figura 27. Bomba dosificadora de membrana



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



▪ **BOMBA DOSIFICADORA DE AGUA DESTILADA**

$$\text{Aquí se necesita un } Q = 6,08 \frac{\text{l}}{\text{min}} = 364,08 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

La bomba seleccionada es una bomba dosificadora de membrana VENETO modelo **DRM-10-105B** capacitada para dar un caudal de 361 l/h.

Las características constructivas y sus dimensiones son exactamente como el modelo anterior con la salvedad de que en la primera el diámetro de la membrana es más pequeño que en la primera.

▪ **BOMBA DE VACIADO DEL AGITADOR**

$$\text{Aquí se necesita un } Q = 1,2 \frac{\text{l}}{\text{min}} = 72 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

La bomba seleccionada es una bomba dosificadora de membrana VENETO modelo **DRM-10-70-A** capacitada para dar un caudal de 75 l/h.

Como ocurre en los casos anteriores se trata de una bomba de las mismas características constructivas y físicas que los modelos anteriores.

▪ **BOMBA DOSIFICADORA DE DESINFECTANTE**

$$\text{Aquí se necesita un } Q = 108,69 \frac{\text{ml}}{\text{h}}$$



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Este caudal es muy pequeño en comparación con el de los casos anteriores por lo que se utiliza otro tipo de bomba dosificadora. En este caso se usa una bomba dosificadora electrónica que está diseñada para este tipo de uso.

La bomba seleccionada es una bomba dosificadora electrónica VENETO modelo **ECO-PLUS** capacitada para dar un caudal de 5 l/h.

Es una bomba regulable en cuanto a impulsos por minuto se refiere llegando a inyectar como máximo 400 impulsos por minuto. En cada impulso se inyecta $0,80 \text{ cm}^3$.

➤ CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

- Cuerpo y racor en polipropileno.
- Esferas en Pyrex.
- Asientos válvula y membranas en PTFE.
- Motor cerrado, protección IP-65, servicio continuo, aislamiento clase F, 1,5 mts. de cable eléctrico de alimentación.

La bomba se puede observar en la figura 28.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM

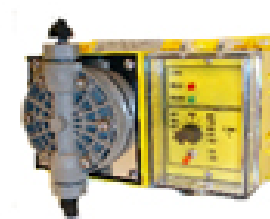


Figura 28. Bomba dosificadora electrónica

▪ AGITADOR

Agitador fijo con soporte externo, con brida para aplicación a depósitos abiertos o semicerrados. El agitador es marca VENETO será **AGPP-600T**.

➤ CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

- Eje en acero inoxidable revestido de polipropileno.
- Hélice y soporte en polipropileno.
- Motor cerrado normalizado, protección IP-44, ventilación exterior.
- Tensión de alimentación: 1 x 230 v., 230/400 v.
- 940 r.p.m. 50 Hz.

En la figura 29 se observa el agitador en cuestión.



Figura 29. Agitador

▪ **SONDA DE BROMO RESIDUAL**

➤ **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

- Portasondas con sensor de flujo y regulación de caudal
- Señal de alarma por falta de flujo
- Instrumento con grado de protección IP65.
- 2 Relés de conexión.
- Set point y alarma configurables.
- Bombas en modo pausa durante la calibración.

En la figura 30 se observa la sonda de bromo residual.



Figura 30. Sonda de bromo

▪ **DEPÓSITOS DE ALMACENAMIENTO DE LÍQUIDOS**

Depósitos contruidos en poliuretano semitransparentes, con escala exterior para visualizar la capacidad, aptos para el almacenamiento y mezcla de los diversos productos químicos y aditivos que pueden inyectarse con las bombas dosificadoras. Todos los depósitos son iguales con la salvedad de la capacidad de cada uno de ellos.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



En la figura 31 se observa cómo son los depósitos.



Figura 31. Depósitos de almacenamiento de líquidos

Se necesitan:

- 2 depósitos de 50 litros.
- 1 depósito de 700 litros.
- 1 depósito de 250 litros.



▪ **TOLVA**

➤ **CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS**

- Cuerpo cilíndrico cerrado.
- Volumen : 200 litros
- Paredes lisas sin rincones ni costuras.
- Fondo cónico.
- Estructura metálica galvanizada.
- Material de la tolva en polietileno

La figura 32 muestra la forma de la tolva con su estructura metálica.



Figura 32.Tolva de almacenamiento



▪ **SONDA DE NIVEL DE SÓLIDO EN TOLVA**

Su función es la detección de niveles máximos o mínimos de sólidos en depósitos o silos.

La marca de la sonda es MESURA y el modelo es **SOLICAP.R.** Tiene una sonda rígida de acero recubierto de PTFE y se utiliza como niveles de mínima o intermedios. Incorpora una zona insensible de acero inoxidable, para evitar falsas maniobras debidas a la acumulación de producto en el techo o en la pared del depósito.

➤ **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

- Temperatura ambiente: -10 a 60 °C
- Temperatura máx. Producto: 90 °C
- Prensaestopas: 2 x M20
- Ajuste de sensibilidad
- Ajuste de seguridad máximo o mínima
- Sonda rígida de acero recubierta de PTFE

La sonda se puede apreciar en la figura 33.



Figura 33. Sonda de nivel de sólidos

▪ SONDA DE NIVEL DE LÍQUIDOS

En este caso se trata de boyas de nivel que permiten que estén en ambientes agresivos.

El modelo elegido es de la marca MESURA, y en concreto se trata del modelo **BDF-05**.



➤ **CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS**

Fabricada en PVDF y con el cable en PTFE hace que sea compatible con multitud de productos. Incorpora un contrapeso fijo para que la boya bascule correctamente.

En la figura 34 se observa la boya de nivel.



Figura 34. Boya de nivel



▪ **TORNILLO SINFIN**

El tornillo sinfín sirve para la extracción de hipoclorito cálcico sólido de la tolva de almacenamiento. El tornillo es de la marca DISMET y está capacitado para la extracción que se requiere.

➤ **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Discos del sinfín fabricados en lámina de acero ASTM A36 y acero inoxidable A304, para mayor duración y resistencia a la abrasión la hélice se puede recubrir con soldadura especial antidesgaste.

La cubierta cuenta con bridas fabricadas en lámina de acero y retenedores que garantizan la alineación del eje y evitan las pérdidas de material.

En la figura 35 se observa cómo es un tornillo sinfín de alimentación.



Figura 35. Tornillo sinfín de alimentación



▪ AUTÓMATA

El autómata es un aparato electrónico capaz de gestionar el funcionamiento de un sistema de tal modo que se consigue automatizarlo. El autómata que se ha elegido es de la marca OMRON cuyo modelo es **CPM2C**.

➤ CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Entre las características principales cabe destacar que incorpora 6 puntos de entrada y 6 de salida. Cabe destacar que su uso reduce notablemente el espacio requerido en el panel de control así como los costes de cableado. La figura 36 muestra el autómata OMRON.



Figura 36. Autómata OMRON



4.2 CÁLCULOS

▪ AHORRO EN PESO DE HIPOCLORITO CÁLCICO

Comercialmente se vende hipoclorito sódico al 13 % en bidones de 30 kilos, por lo que si se prepara una disolución de hipoclorito cálcico al 25 % se puede conseguir una disminución importante del peso a manejar.

¿Cuánto se reduce?

En una garrafa de 30 kilos hay:

$$30 \times 0,13 = 3,9 \text{ kilos de hipoclorito sódico} \quad (\text{ec.23})$$

Como en los ensayos se ha preparado el mismo porcentaje de disolución de hipoclorito cálcico (13%) y suponiendo que se utiliza la misma cantidad de hipoclorito, si se prepara una disolución al 25 % se obtiene:

$$\frac{3,9 \text{ kilos hip.cálcico}}{25 \%} \times 75 \% = 11,7 \text{ kilos de agua} \quad (\text{ec.24})$$

Es decir, para preparar la disolución de hipoclorito cálcico se tendría:

$$3,9 \text{ kilos hip.cálcico} + 11,7 \text{ kilos agua} = 15,6 \text{ kilos} \quad (\text{ec.25})$$

Como se observa preparando una disolución al 25 % se produce un ahorro de casi la mitad de kilos para su manipulación, se pasa de 30 kilos a 15,6 kilos, sin duda mucho más cómodo.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



▪ DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

Se parte de $200 \text{ m}^3/\text{día}$ de caudal de agua a tratar al día y respetando la concentración de desinfectante empleada en los ensayos, es decir, 15 ppm. Además se quiere que el sistema entre en marcha una vez a la semana o cada 10 días aproximadamente. Sin embargo los depósitos para almacenar los reactivos serán lo suficientemente grandes como para no tener que reponer producto constantemente.

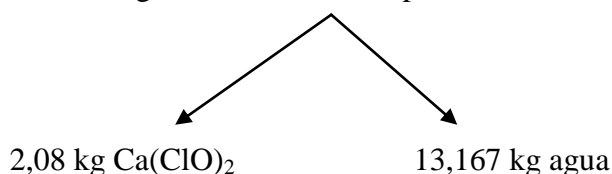
La disolución de hipoclorito cálcico será al 13 % y se mantiene la relación másica con la sal de bromo 3:1.

De esta forma se tiene:

$$200.000 \frac{\text{l}}{\text{día}} \times 15 \frac{\text{mg}}{\text{l}} = 3.000.000 \frac{\text{mg}}{\text{día}} = 3 \frac{\text{kg}}{\text{día}} = 21 \frac{\text{kg}}{\text{semana}} \text{ desinfectante}$$

Como la relación es 3:1 de hipoclorito/sal de bromo se tiene:

- 5,25 kg de sal de bromo
- 15,75 kg de disolución de hipoclorito al 13 %



Como se quiere que el depósito de desinfectante dure una semana aproximadamente se procede al dimensionamiento. Se obtiene la densidad de hipoclorito cálcico al 13 % con los datos de laboratorio.

$$\text{Dens.hip.cálcico} = \frac{\text{masa agua} + \text{masa sólido}}{\text{volumen agua}} = \frac{66,7446 + 10,1652}{66,7446} = 1,15 \text{ g/cm}^3 \text{ (ec.26)}$$



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Como se conocen las densidades y kilos de cada reactivo se obtienen los litros necesarios por semana.

$$V_{\text{sal de bromo}} = \frac{\text{masa}}{\text{densidad}} = \frac{5,75}{1,439} = 3,99 \text{ litros} \approx 4 \text{ l/semana} \quad (\text{ec.27})$$

$$V_{\text{dis.hipoclorito}} = \frac{\text{masa}}{\text{densidad}} = \frac{15,75}{1,15} = 13,69 \text{ litros} \approx 14 \text{ l/semana} \quad (\text{ec.28})$$

$$V_{\text{total}} = 14 + 4 = 18 \text{ litros} \quad (\text{ec.29})$$

Estos 18 litros es el volumen útil de desinfectante para preparar, pero el depósito tiene que ser más grande por varias razones. La primera es que va a llevar un agitador introducido que va a hacer que suba el nivel de agua. La segunda razón es que se quiere dejar una parte del depósito como reserva por si hubiese algún tipo de contratiempo y por lo tanto tener desinfectante preparado. Y la última es que en caso de ampliación de planta estos depósitos se quedarían pequeños por lo que siendo previsor se adquieren depósitos un poco más grandes.

En este caso se opta por elegir dos depósitos de **50 litros**, uno donde va instalado el agitador y otro para almacenar el desinfectante. El volumen útil del depósito del agitado será la diferencia entre el nivel máximo y mínimo del depósito 6.

Ahora se dimensiona la tolva y los tanques de agua destilada y de sal de bromo. Como este llenado es manual, se dimensionan para que haya que cargarlos cada mucho tiempo.

$$V_{\text{tolva}} = 2,08 \frac{\text{kg hipoclorito s\acute{o}lico}}{\text{semana}} \times 52 \frac{\text{semanas}}{\text{a\~{n}o}} = 108,16 \text{ kg/a\~{n}o} \quad (\text{ec.30})$$

En este caso se recomienda una tolva de **200 litros**.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



$$V_{\text{agua destilada}} = 13,167 \frac{\text{litros}}{\text{semana}} \times 52 \frac{\text{semanas}}{\text{año}} = 684,68 \text{ l/año} \quad (\text{ec.31})$$

$$V_{\text{sal de bromo}} = 4 \frac{\text{litros}}{\text{semana}} \times 52 \frac{\text{semanas}}{\text{año}} = 208 \text{ l/año} \quad (\text{ec.32})$$

Para el caso del agua destilada utilizaremos un depósito de **700 litros** y para el de sal de bromo de **250 litros**.

A continuación se pasa a dimensionar las bombas dosificadoras instaladas a la salida de cada depósito.

▪ BOMBA DOSIFICADORA DE SALIDA DE TANQUE 6

$$Q_{\text{inyectar}} = 200.000 \frac{\text{l}}{\text{dia}} = 8333,33 \frac{\text{l}}{\text{hora}} \times 15 \frac{\text{mg}}{\text{l}} = 124,999 \frac{\text{g}}{\text{h}} \quad (\text{ec.33})$$

$$\frac{124,999 \frac{\text{g}}{\text{h}}}{1,15 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 108,69 \frac{\text{cm}^3}{\text{h}} = \mathbf{108,69 \frac{\text{ml}}{\text{h}}} \quad (\text{ec.34})$$

▪ BOMBA DOSIFICADORA DE SALIDA DE TANQUE 5

Esta bomba será la que llene el depósito 6. Como entra en funcionamiento cuando el depósito 6 está al nivel mínimo no es necesario que se llene excesivamente rápido ya que tenemos todavía un nivel importante de desinfectante preparado. De esta forma se puede elegir una bomba que llene el depósito en un tiempo razonablemente rápido y permite ahorrar costes.

Se elige un tiempo de llenado de 15 minutos con lo que el caudal que se necesita es:



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}} = \frac{18 \text{ l}}{15 \text{ min}} = 1,2 \frac{\text{l}}{\text{min}} \quad (\text{ec.35})$$

▪ BOMBA DOSIFICADORA DE SALIDA DE TANQUE AGUA DESTILADA

Como el agua es el reactivo que mayor volumen hay que adicionar se va a intentar minimizar su tiempo para no alargar demasiado el proceso de preparación de la mezcla.

Se va a preparar una bomba dosificadora capaz de trasegar el agua en 2 minutos. Para ello se necesita el siguiente caudal:

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}} = \frac{13,167 \text{ l}}{2 \text{ min}} = 6,08 \frac{\text{l}}{\text{min}} \quad (\text{ec.36})$$

▪ BOMBA DOSIFICADORA DE SALIDA DE TANQUE SAL DE BROMO

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}} = \frac{4 \text{ l}}{2 \text{ min}} = 2 \frac{\text{l}}{\text{min}} \quad (\text{ec.37})$$

▪ TORNILLO SINFÍN

El tornillo sinfín se instala junto a la salida de la tolva. Dosifica hipoclorito cálcico a una velocidad de 2 kg minutos. Esta velocidad es regulable y la cantidad extraída depende de las revoluciones programadas en el tornillo.



4.3 COSTES DEL EQUIPO

En la tabla 17 se observa el resumen de los precios de los principales equipos para automatizar el sistema.

Tabla 17. Precios de equipos para automatización

CANTIDAD	EQUIPO	PRECIO(€)
2	Depósito de 50 litros	64,40
1	Depósito de 250 litros	72,15
1	Depósito de 700 litros	198,25
1	Bomba dosificadora DRM-10-105B	320,60
1	Bomba dosificadora DRM-10-70B	248,50
1	Bomba dosificadora DRM-10-70A	130,00
1	Bomba dosificadora ECO-PLUS	78,80
1	Tolva de 200 litros con soporte	92,15
1	Tornillo sinfín	181,15
1	Sonda de nivel de sólidos	200,50
4	Boyas de nivel de líquido	245,15
1	Sonda de bromo residual	1.060,50
1	Autómata OMRON	355,00
	PRECIO TOTAL	3.247,15 €



4.4 RENTABILIDAD PROCESO

A continuación se ha elaborado una estimación del tiempo necesario para rentabilizar la planta de desinfección.

El precio del proceso automatizado como del proceso sin automatizar se resume en la tabla 18.

Tabla 18. Precio planta automatizada/sin automatizar

CONCEPTO	(€/AÑO)	(€/MES)
NaClO	1.599,78	133,31
EMPRESA DE MANTENIMIENTO	1.820,00	151,66
TOTAL	3419,78	284,97
$\text{Ca}(\text{ClO})_2$	1.639,25	136,60
EQUIPOS	3.247,15	270,59
TOTAL	4.886,4	407,19



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Sabiendo lo que cuesta uno y otro proceso al mes se ha elaborado la figura 37 donde se observa cómo se va amortizando el gasto de equipos de la planta automatizada. Como se aprecia, antes de que finalice el segundo año se ha rentabilizado la planta y es a partir de ahí donde se empieza a sacar beneficio de la inversión.

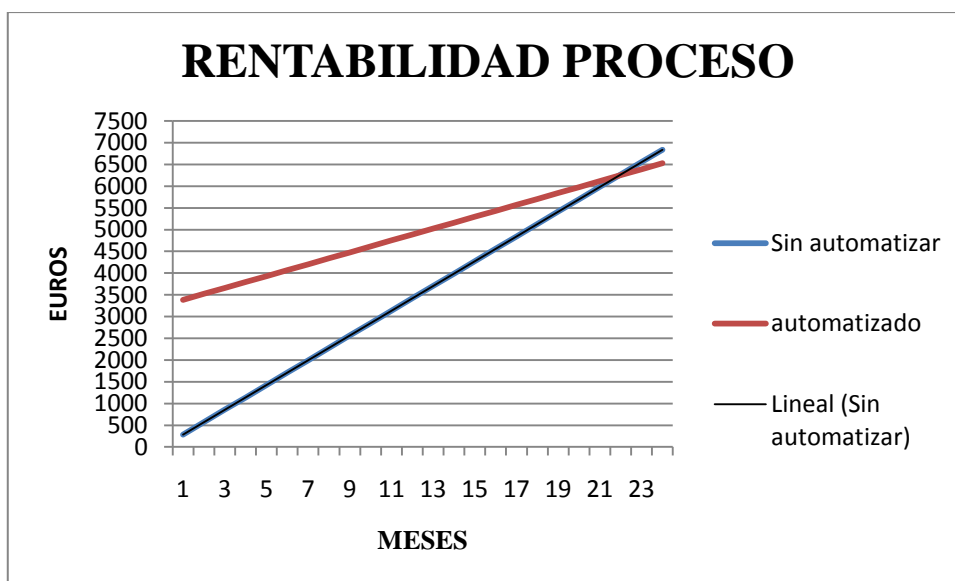


Figura 37. Gasto acumulado de planta automatizada y sin automatizar



5. ANEXOS



5.1 NOMENCLATURA

Bromo residual libre: Es el bromo que queda en el agua sin haber reaccionado químicamente y por lo tanto será el bromo remanente para desinfectar. Este bromo se refiere a HBrO y BrO^- .

Bromo residual combinado: Es el bromo que oxida la materia orgánica dando lugar a las bromaminas.

Bromo total: es la suma del bromo libre y el bromo combinado.

Demanda de Bromo: En el agua el bromo reacciona fácilmente con varias sustancias dando lugar a un consumo del bromo residual libre. Esta reducción del bromo libre se conoce como “demanda de bromo”.

THM: trihalometanos

SPD: subproductos de desinfección.

Pyrex: es un tipo de vidrio de alta resistencia.

PTFE: El politetrafluoretileno (PTFE) es un polímero similar al polietileno, en el que los átomos de hidrógeno han sido sustituidos por átomos flúor

PVDF: Polivinilidenofluoruro. Es un material plástico de la familia de los fluoropolímeros.

OMS: Organización mundial de la salud.



5.2 FICHAS DE SEGURIDAD



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



productos químicos puros qp fabricación a terceros mezclas disoluciones
molturaciones emulsiones manipulaciones envasados procesos químicos



HIPOCLORITO SODICO

Ficha de datos de seguridad (FDS)

Fecha revisión 22.11.2007

1.- IDENTIF. DE LA SUSTANCIA Y DEL RESPONSABLE DE SU COMERCIALIZACIÓN

Nombre comercial: HIPOCLORITO SODICO

Sinónimos: Hipoclorito de Sodio, Lejía, Agua de Labarraque, Agua de Javel, Sosa clorada, Clorax

Identificación de la empresa:

RAMS-MARTINEZ, S.L. (T3 QUÍMICA)

Pol.Inds. Can Clapers, Torrent d'en Baiell, 36 A

08181-SENTMENAT (Barcelona)

Teléf.: 93 715 20 01

Fax.: 93 715 23 79

Email: t3quimica@t3quimica.com

Servicio Nacional de Información Toxicológica: 91 562 04 20

2.- COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Fórmula molecular: NaClO

CAS N°: 7681529 **EINECS N°:** 2316683 **Peso Molecular:** 74,45

3.- IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

Peligro para las personas: Producto corrosivo, peligroso para la salud del hombre. Reacciona con

ácidos liberando cloro (gas muy irritante y tóxico)

Peligro para el medio ambiente: Oxidante y alcalino. En contacto con ácidos se descompone desprendiendo cloro que es tóxico para la flora y la fauna.

4.- PRIMEROS AUXILIOS

Ingestión: Enjuagar la boca. Si el paciente está consciente dar de beber agua o leche que se desee.

Si el paciente está inconsciente no provocar el vómito y mantener en posición lateral de seguridad.

Requerir asistencia médica.

rams-martínez, S.L.
pol. inds. can clapers
torrent d'en baiell, 36 a

apartado de correos nº 5
08181 sentmenat
barcelona - spain

www.t3quimica.com
t +34 93 715 2001
t3quimica@t3quimica.com



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



t3QUIMICA

productos químicos puros qp fabricación a terceros mezclas disoluciones
molturaciones emulsiones manipulaciones envasados procesos químicos



HIPOCLORITO SODICO

Ficha de datos de seguridad (FDS)

Fecha revisión 22.11.2007

Inhalación: Trasladar a la víctima a un lugar ventilado. Mantener en reposo y abrigado. Aplicar

respiración artificial en caso de insuficiencia respiratoria. Solicitar asistencia médica.

Contacto la piel: Quitar las ropas contaminadas. Lavar con agua abundante el área afectada. Requerir asistencia médica en caso de irritación persistente.

Contacto con los ojos: Lavar con abundante agua durante 15 minutos, manteniendo los párpados abiertos. Acudir al oftalmólogo en caso de irritación persistente.

5.- MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Medios de extinción adecuados: agua en grandes cantidades, agua pulverizada.

Medios de extinción que no deben utilizarse: ninguna reserva.

Equipo de protección especial para lucha contra incendios: Equipo habitual de la lucha contraincendios de tipo químico. Llevar equipo de respiración autónomo.

6.- MEDIDAS QUE DEBEN TOMARSE EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Precauciones individuales: Ver punto 8.

Precauciones para la protección del medio ambiente: Evitar que el producto penetre en cauces de agua y en el sistema de alcantarillado.

Métodos de limpieza: Lavar los restos con agua abundante y arena y recoger el producto con medios mecánicos, ponerlo todo en un recipiente cerrado y etiquetado.

7.- MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Manipulación: Evitar la formación de polvo. No fumar, comer o beber durante su manipulación.

Procurar higiene personal adecuada después de su manipulación.

Almacenamiento: Lugar fresco, resguardado de la luz y lejos de productos reactivos.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



F3 QUÍMICA

productos químicos puros qp fabricación a terceros mezclas disoluciones
molturaciones emulsiones manipulaciones envasados procesos químicos



HIPOCLORITO SODICO

Ficha de datos de seguridad (FDS)

Fecha revisión 22.11.2007

8.- CONTROLES DE EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN INDIVIDUAL

Límites de exposición: TLVC = 2mg/m³.

Protección respiratoria: Máscara facial con cartucho tipo B-P2.

Protección de las manos: Guantes de PVC, neopreno o caucho.

Protección de los ojos: Gafas químicas estancas y/o pantalla facial.

Protección cutánea: Utilizar ropa de trabajo adecuada que evite el contacto del producto.

9.- PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Estado físico: Líquido **Color:** Amarillo Verdoso

pH. 11-13 **Olor:** Picante

Inflamabilidad: No inflamable. **Solubilidad:** Soluble en agua en todas las proporciones.

Pto. de fusión: -6 °C (40 g/l) a -20 °C (175 g/l)

10.- ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad: bajo ciertas condiciones.

Reactividad: Acción corrosiva sobre muchos metales.

Materias a evitar: Calor, fuentes de calor, luz solar directa. Materias orgánicas, Níquel, Cobre, Cobalto y hierro.

11.- INFORMACIONES TOXICOLÓGICAS

DL50 / oral / rata > 2 mg/kg

LD50 / vía dérmica / rata > 2 g/kg

LC50 / inhalación / 1h / rata > 10,5 g/m³

Conejo / piel = corrosivo

Conejo / ojos = lesiones graves



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



F3QUIMICA

productos químicos puros qp fabricación a terceros mezclas disoluciones
molturaciones emulsiones manipulaciones envasados procesos químicos



HIPOCLORITO SODICO

Ficha de datos de seguridad (FDS)

Fecha revisión 22.11.2007

12.- INFORMACIONES ECOLÓGICAS

Esta sustancia es oxidante para la fauna y la flora acuática en bajas concentraciones. Se debe evitar que alcance los recursos de agua y sistemas de alcantarillado. Produce alcalinización del terreno. Por desprendimiento de cloro quema material combustible.

13.- INFORMACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

Medios de eliminación del producto: Respetar las normativas locales y nacionales. Disponer el producto a eliminar en un tratador autorizado de residuos.

Medios de eliminación de los envases usados: Disponer los envases a eliminar en un tratador autorizado para su eliminación o incineración.

14.- INFORMACIONES RELATIVAS AL TRANSPORTE

ADR/RID N° ONU: 1791 **Panel:** 80/1791 **Grupo Embalaje:** III **Clase:** 8 **Etiqueta:** 8
IMDG Etiqueta: 8 **Pág.:** 8186 **N° Panel en cisterna:** 1791

15.- INFORMACIONES REGLAMENTARIAS

Pictogramas:

C C: Corrosivo

Frases R:

R 34: Provoca quemaduras.

R 31: En contacto con ácidos libera gases tóxicos.

Frases S:

S 1/2: Consérvese bajo llave y mantener fuera del alcance de los niños.

S 45: En caso de malestar, acudir inmediatamente al médico (si es posible, muéstrela la etiqueta)

S 28: En caso de contacto con la piel lávese inmediata y abundantemente con agua.

S 50: No mezclar con ácidos.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



F3QUIMICA

productos químicos puros qp fabricación a terceros mezclas disoluciones
molturaciones emulsiones manipulaciones envasados procesos químicos



HIPOCLORITO SODICO

Ficha de datos de seguridad (FDS)

Fecha revisión 22.11.2007

16.- OTRAS INFORMACIONES

La información suministrada en el presente documento está basada en nuestro conocimiento y experiencia, no constituyendo garantía alguna de las especificaciones del producto. El cumplimiento de las indicaciones contenidas en el texto no exime al utilizador del cumplimiento de cuantas normativas legales sean aplicables. El uso y aplicación de nuestros productos está fuera de nuestro control y por consiguiente, bajo la responsabilidad del comprador.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



PRODUCTOS QP, S.A.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD (según R.D. 255/2003 y Reglamento CE 1907/2006)

Producto: **BARCOLENE CA - 20**

Rev. 3
Fecha rev.: 21/05/08

1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O PREPARADO Y DE LA EMPRESA

Denominación Comercial: **BARCOLENE CA - 20**

Caracterización química: Desinfectante clorado de uso general en la vida privada y la salud pública, industrial e institucional. Desinfectante para tratamiento de aguas potables.

Empresa: **Productos QP, S.A.**

Ctra. Logroño, Km. 10,200

50180 - UTEBO (Zaragoza)

Nº Teléfono / Fax: (976) 786 464 - (976) 785 799

e-mail: d.tecnico@grupoqp.com

Teléfono Urgencias: (976) 786464

Teléfono Instituto N. Toxicología: (91) 562 04 20

2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

Peligros para las personas: Producto comburente: peligro de fuego en contacto con materias combustibles. Nocivo por ingestión. En contacto con ácidos libera gases tóxicos (cloro). Corrosivo: provoca quemaduras (para mayor información ver epígrafe 11).

Peligros para el medio ambiente: Muy tóxico para los organismos acuáticos (para mayor información ver epígrafe 12).

3. COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES

Descripción química: Hipoclorito cálcico (70%).

Componentes peligrosos: Sustancias que intervienen en un porcentaje superior al límite de exención y presentan un peligro para la salud o el medio ambiente:

<u>Nº CAS</u>	<u>Nº EINECS</u>	<u>DENOMINACIÓN</u>	<u>PORCENTAJE</u>	<u>PELIGROSIDAD</u>
7778-54-3	231-908-7	Hipoclorito de calcio	70%	O,Xn,C,N: R8-22-31-34-50

4. PRIMEROS AUXILIOS

Indicaciones generales: En los casos de duda, o cuando persistan los síntomas de malestar, solicitar atención médica inmediata. Si se detiene la respiración o muestra signos de desfallecimiento aplicar respiración artificial (no se puede hacer la respiración boca a boca cuando esta ha sido contaminada por el producto). No administrar nunca nada por vía oral a personas que se encuentren inconscientes.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



PRODUCTOS QP, S.A.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD (según R.D. 255/2003 y Reglamento CE 1907/2006)

Rev. 3

Producto: **BARCOLENE CA - 20**

Fecha rev.: 21/05/08

La información de la composición actualizada del producto ha sido remitida al Servicio de Información Toxicológica (Instituto Nacional de Toxicología). En caso de intoxicación llamar al Servicio Médico de Información Toxicológica: Telf. (24 horas) 91.562.04.20

Tras contacto con la piel: Quitarse la ropa contaminada. Lavarse abundantemente con agua. Acudir al medico.

Tras contacto con los ojos: Enjuagar inmediatamente con agua al menos durante 15 minutos con los párpados abiertos. Obtener atención medica inmediatamente.

Tras ingestión: Lavar con agua la boca y dar a beber a la persona afectada, sorbos de leche o agua fría para aliviar las partes afectadas. No inducir el vómito. Obtener atención médica inmediatamente.

Tras inhalación: Sacar al afectado de la zona contaminada y trasladarlo al aire libre. Mantenerlo semiincorporado y en reposo. Hacer la respiración artificial si fuera necesario. Llevarlo al medico si persiste el malestar.

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Medidas de extinción adecuados: Agua en grandes cantidades (pequeñas cantidades de agua pueden agravar la situación). Puede utilizarse CO_2 en caso de pequeños incendios. No debe utilizarse: Polvo a base de sales amoniacales y agentes extintores halogenados.

Riesgos de exposición: Producto no inflamable, pero puede agravar el incendio por contacto con Materiales combustibles. Se descompone a altas temperaturas emitiendo gases tóxicos: cloruro de hidrógeno.

Equipo de protección para el personal de lucha contra incendios: Si se produce fuego, llevar aparato autónomo de respiración.

Información adicional: Aislar, si es posible, los envases afectados del resto, llevándolos a una zona ventilada y dejando que se consuma. Si no es posible, refrigerar con agua pulverizada los recipientes próximos a la fuente de calor o fuego. No verter las aguas químicamente contaminadas en el suelo, aguas o desagües. Tomar las medidas necesarias para retener el agua usada, para su posterior eliminación según las reglamentaciones locales.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



PRODUCTOS QP, S.A.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD (según R.D. 255/2003 y Reglamento CE 1907/2006)

Rev. 3

Producto: **BARCOLENE CA - 20**

Fecha rev.: 21/05/08

6. MEDIDAS A TOMAR EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Precauciones individuales: Evitar contacto con la piel, los ojos y las vías respiratorias. No respirar el polvo. Utilícese equipo de protección personal adecuado (ver epígrafe 8).

Precauciones para la protección del medio ambiente: Prevenir la contaminación de suelo, cursos de aguas o desagües. En caso de producirse grandes vertidos del producto puro, avisar a las autoridades competentes.

Métodos de limpieza: Barrer y recoger totalmente el producto vertido. Depositarlo en el envase original o en otro recipiente completamente limpio y con bolsa de plástico interior. Se etiquetará y almacenará aparte para su gestión como residuo para su posterior eliminación según reglamentaciones locales. Ver epígrafe 13 para más información sobre la eliminación de residuos de producto.

7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Manipulación: No producir polvo. Evitar contacto con la piel y los ojos. Si la cantidad a manipular es suficientemente importante, prever un sistema de ventilación o extracción de gases o polvo. Manipular lejos de otros productos químicos. Cumplir con la legislación vigente sobre seguridad e higiene en el trabajo. No comer, beber ni fumar durante la manipulación. Después de la manipulación, lavar las manos con agua. Para control de exposición y medidas de protección individual, ver epígrafe 8.

Almacenamiento: Almacenar únicamente en el recipiente original, bien cerrado y en sitio fresco, seco y ventilado. Evitar la incidencia directa de luz solar y mantener alejado de toda fuente de calor y de otros productos químicos. Almacenar en áreas reservadas para materiales químicos. Material apto para envasado y almacenamiento: vidrio, PVC, PET, Polietileno, HDPE, plástico reforzado con fibra de vidrio. No utilizar envases metálicos ni de madera.

Usos específicos: En el uso para el tratamiento de aguas, no debe ser mezclado con otros productos que deban añadirse a la misma, ya que pueden reaccionar entre sí violentamente.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



PRODUCTOS QP, S.A.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD (según R.D. 255/2003 y Reglamento CE 1907/2006)

Rev. 3

Producto: **BARCOLENE CA - 20**

Fecha rev.: 21/05/08

8. CONTROL DE EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL

Valores límites de exposición: Valores límite VLA para la sustancia no establecidos, se sugieren los del:

	<u>VLA-ED</u>	<u>VLA-EC</u>	<u>FUENTE/AÑO</u>
Cloro gas	0'5 ppm	1 ppm	INSHT / 2006

Medidas de orden técnico: Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas y respetar las prácticas de seguridad. Procurar ventilación adecuada, especialmente en los locales cerrados. Disponer de equipo lavaojos.

Protección de las manos/piel: Guantes de protección resistentes a la penetración de agentes químicos.

Protección de los ojos: Gafas protectoras contra productos químicos.

Protección respiratoria: En caso de producirse polvo utilizar máscara adecuada.

9. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

- Aspecto:	Tabletas blancas de 20 gr
- Olor:	a cloro
- pH (en disolución al 1%)	10.5 – 11.5
- Tª fusión:	no aplicable
- Tª ebullición:	no aplicable
- Punto de descomposición:	>177°C
- Inflamabilidad:	no inflamable
- Propiedades explosivas:	solo puede explotar si reacciona con otros productos químicos (ácidos, álcalis, compuestos nitrogenados, grasas, aceites, etc.)
- Propiedades comburentes:	comburente.
- Densidad aparente:	aprox. 800 kg/m ³
- Solubilidad en agua:	180 g/l
- Coeficiente reparto n-octanol/agua:	no disponible
- Viscosidad:	no aplicable
- Presión de vapor:	no aplicable
- Velocidad de evaporación:	no disponible



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



PRODUCTOS QP, S.A.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD (según R.D. 255/2003 y Reglamento CE 1907/2006)

Rev. 3

Producto: **BARCOLENE CA - 20**

Fecha rev.: 21/05/08

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad: Producto fuertemente oxidante, e inestable a T^a y humedad elevadas.

Condiciones / Materiales a evitar: Evitar ambientes húmedos y temperaturas superiores a 50°C . Evitar el contacto del producto puro con ácidos, materia orgánica, compuestos nitrogenados, extintores de polvo seco (con fosfato monoamónico), materiales corrosivos, inflamables o combustibles. ¡ATENCIÓN: NO UTILIZAR JUNTO CON OTROS PRODUCTOS, PUEDEN DESPRENDERSE GASES TÓXICOS (CLORO)!

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Efectos toxicológicos agudos:

- Ojos:** Causa quemaduras en contacto con los ojos, con riesgo de lesiones oculares graves.
- Piel:** Causa quemaduras en contacto con la piel, pudiendo llegar a la formación de llagas.
- Ingestión:** Es nocivo por ingestión, causando dolores abdominales, náuseas y debilidad general.
- Inhalación:** Puede causar fuerte irritación de las vías respiratorias, dolor de garganta, tos y náuseas.

Datos toxicológicos: No disponible datos del formulado, se proponen los de los componentes puros:

<u>Datos de componentes individuales</u>	<u>LD50 oral</u> <u>(rata)</u>	<u>DL50 Cutánea</u> <u>(conejo)</u>	<u>CL50 Inhalación</u> <u>(rata, 1 hora)</u>
Hipoclorito cálcico	850 mg/kg	> 2000 mg/kg	1700 mg/m ³

Efectos toxicológicos crónicos: No se conocen

12. INFORMACIONES ECOLÓGICAS

Vertidos al agua/suelos: No debe ser vertido directamente a desagües, alcantarillas ni cursos de agua, debido a su toxicidad para los organismos acuáticos. Se hidroliza en disolución acuosa. Controlar la presencia de cloro activo y el pH en el agua contaminada.

Emisiones a la atmósfera: Se puede suprimir los polvos/vapores utilizando una pulverización fina del agua.

Movilidad: Solubilidad y movilidad en agua y suelos/sedimentos importantes.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



PRODUCTOS QP, S.A.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD (según R.D. 255/2003 y Reglamento CE 1907/2006)

Producto: **BARCOLENE CA - 20**

Rev. 3
Fecha rev.: 21/05/08

Persistencia y degradación:

Degradación biótica: no aplicable.

Degradación abiótica: presenta degradación significativa por oxidación de los materiales orgánicos e inorgánicos en disolución con formación de productos de descomposición o reacción: cloratos, cloruros, cloraminas, metales oxidados, etc.

Datos ecotoxicológicos: Producto muy tóxico para los organismos acuáticos, según Dir. 1999/45/CE.

<u>Datos de componentes individuales</u>	<u>CL50 (peces, 96 hr)</u>	<u>CE50 (daphnia, 48 hr)</u>	<u>CI50 (algas, 72 horas)</u>
Hipoclorito cálcico	-	-	2 mg/l

13. CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACIÓN

Residuos: Pequeñas cantidades de producto pueden eliminarse directamente al alcantarillado previa dilución con agua abundante. Mayores cantidades deberán ser gestionadas por un gestor de residuos autorizado de acuerdo con las reglamentaciones locales/nacionales.

Envases/embalajes contaminados: Para los embalajes contaminados deberán adoptarse las mismas medidas que para el producto. Los embalajes no contaminados se tratarán como los residuos domésticos o como material reciclable.

14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

Terrestre (ADR/RID-2007):

Documentos de transporte:	Carta de porte e Instrucciones de seguridad para el transporte
Identificación producto:	UN 1748 HIPOCLORITO DE CALCIO SECO, 5.1, GE II
Inscripción en bultos:	UN-1748 Etiquetas ADR nº: 5.1
Nº peligro:	50 Grupo de embalaje: II
Exención LQ11:	Envases de menos de 0'5 kg en bultos de menos de 30 kg.

Marítimo (IMDG 32-04):

Identificación producto:	HIPOCLORITO CÁLCICO SECO
Clase:	5.1/II, UN-1748 Cód. IMDG:
Contaminante marítimo:	si FEm (f-Incendio; S-derrame): F-H; S-Q

Aéreo (IATA/ICAO-2005):

Identificación producto:	HIPOCLORITO CÁLCICO SECO
Clase:	5.1/II, UN-1748 178



Desinfección de agua de torres de refrigeración
con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



PRODUCTOS QP, S.A.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD (según R.D. 255/2003 y Reglamento CE 1907/2006)

Producto: **BARCOLENE CA - 20**

Rev. 3
Fecha rev.: 21/05/08

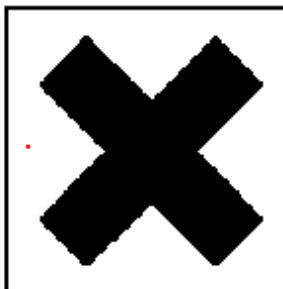
15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Símbolos CEE:

O: COMBURENTE;



Xn: NOCIVO;



N: Peligroso para el M.A.



Frases de Riesgo:

R8: Peligro de fuego en contacto con materias combustibles.
R22: Nocivo por ingestión
R31: En contacto con ácidos libera gases tóxicos
R34: Provoca quemaduras.
R50: Muy tóxico para los organismos acuáticos.

Frases de Seguridad:

S2: Manténgase fuera del alcance de los niños.
S8: Manténgase el recipiente en lugar seco.
S13: Manténgase lejos de alimentos, bebidas y pienso.
S26: En caso de contacto con los ojos, lávense inmediata y abundantemente con agua y acúdase al médico
S35: Elimínense los residuos del producto y sus recipientes con todas las precauciones posibles
S36/37/39: Úsense indumentaria y guantes adecuados y protección para los ojos/la cara.
S41: En caso de incendio y/o explosión no respire los humos.
S45: En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible, muéstrole la etiqueta).

Contenido:

Hipoclorito cálcico (70%).

Otras indicaciones:

No ingerir.
A fin de evitar riesgos para las personas y el medio ambiente siga las instrucciones de uso.
En caso de accidente consultar al Servicio Médico de Información Toxicológica (Tel. 91 562 04 20).



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



PRODUCTOS QP, S.A.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD (según R.D. 255/2003 y Reglamento CE 1907/2006)

Rev. 3

Producto: **BARCOLENE CA - 20**

Fecha rev.: 21/05/08

16. OTRAS INFORMACIONES

Desinfectante de amplio espectro, **APTO para el tratamiento de aguas potables de consumo público** acorde con la **Norma UNE-EN 900:2000** que figura para este producto en el anexo II del Real Decreto 140/2003, desarrollado por la Orden SCO-3719-2005.

Producto amparado por los Registros de la Empresa: **R.S.I. nº 37.1/Z y 31.446/Z**
R.O.E.S.P. nº Z-0152-E

Composición comunicada al Instituto Nacional de Toxicología.

Información sobre dosis y forma de empleo: en etiqueta y ficha técnica del producto.

La presente ficha anula la revisión 2 y la actualiza de acuerdo a la Legislación vigente de Preparados Peligrosos, Biocidas, Detergentes y/o Lejías **en epígrafes: 1, 2, 3, 4, y 16.**

La información facilitada en esta Ficha de Datos de Seguridad ha sido redactada de acuerdo con el anexo II del Reglamento CE 1907/2006, del 18/12/2006, relativo al **REACH**, y también de acuerdo con el R.D. 255/2003 (Directivas 1999/45/CE, 2001/58/CE y 2001/60/CE) de 28 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos, así como con el R.D. 363/1995 (Directiva 67/548/CEE) de 10 de Marzo, por el que se aprueba el Reglamento sobre Notificación de Sustancias Nuevas y Clasificación, Envasado y Etiquetado de Sustancias Peligrosas, cuyos anexos técnicos han sido actualizados hasta la ORDEN PRE/2317/2002, de 16 de Septiembre de 2002 (Directivas 2001/58/CE y 2001/59/CE y hasta la 29th. ATP (Dir. 2004/73/CE) transpuesta a la legislación española por la ORDEN PRE/1244/2006, de 20 de abril de 2006. También de acuerdo con la RTS de Detergentes vigente (R.D. 770/1999 y Reglamento CE 648/2004), así como el de Biocidas (R.D. 1054/2002).

La información de esta Ficha de Datos de Seguridad está basada en las propiedades de los componentes que nos han comunicado nuestros proveedores, así como en nuestros conocimientos en el momento en que esta hoja ha sido editada. La Ficha de Datos de Seguridad pretende dar información relativa a la valoración sanitaria y de seguridad de las condiciones bajo las cuales este producto se transporta, almacena o emplea en el trabajo. La empresa suministradora acepta responsabilidad en cuanto a la valoración que de estos datos pueda hacer el usuario. Este documento no tiene como fin dar garantías de calidad.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



ASHLAND		Página: 1 of 8
FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD		Fecha de revisión: 25.06.2009
		Fecha de impresión: 23.10.2009
DREWBROM® PRECURSOR		Número MSDS: R0249598
		Versión: 1.3

Cumple con el Reglamento (CE) No. 1907/2006 - MSDS_ES

1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O EL PREPARADO Y DE LA SOCIEDAD O EMPRESA

Ashland Apartado de correos 8619 NL3009 AP, Rotterdam Países Bajos EUSMT@ashland.com	Teléfono de emergencia +1-800-ASHLAND (+1-800-274-5263/+1-606-329-5701), o llame a su número de emergencia local al 112 Información del Producto +31 10 497 5000 (en los Países Bajos), o comuníquese con la persona de contacto de su representante local de servicios al consumidor
--	--

Nombre del producto DREWBROM® PRECURSOR

Código del producto 350762

Descripción para el Uso del

Producto

Producto biocida

2. IDENTIFICACION DE LOS PELIGROS

Resumen sobre el Peligro	
Riesgos	

No es una sustancia o una preparación peligrosa según la Directiva de la CE 67/548/CEE o 1999/45/CE.

3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Componentes	No. CAS	No. EINECS	Concentración	Símbolo(s)	Frase(s) - R
bromuro de sodio	7647-15-6	231-599-9	$\geq 25 - < 40\%$		

Para el texto completo de las frases R mencionadas en esta Sección, ver la Sección 16.

4. PRIMEROS AUXILIOS

Información general

Sin datos disponibles

Ojos

Enjuagar los ojos con agua durante 15 minutos por lo menos. Consultar un médico si aparece y persiste una irritación en los ojos. Retirar las lentillas.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



ASHLAND		Página: 2 of 8
FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD		Fecha de revisión: 25.06.2009
		Fecha de impresión: 23.10.2009
DREWBROM® PRECURSOR		Número MSDS: R0249598 Versión: 1.3

Piel

Quítese inmediatamente la ropa y zapatos contaminados. Lávese inmediatamente con agua abundante.

Ingestión

No provocar vómitos sin consejo médico. Nunca debe administrarse nada por la boca a una persona inconsciente. Si es necesario consultar a un médico.

Inhalación

Salir al aire libre. En el caso de molestias prolongadas acudir a un médico. En caso de dificultad respiratoria, dar oxígeno.

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Medios de extinción adecuados

Polvo ABC, producto químico en polvo, Niebla de agua, dióxido de carbono (CO_2)

Agentes de extinción inadecuados

NO USAR: halones

Productos de combustión peligrosos

Bromo, bromuro de hidrógeno

Descomposición térmica

Sin datos disponibles

Precauciones para la lucha contra incendios

No dejar irse los desechos tras un incendio en los desagües o las tuberías. Mantener los contenedores y los alrededores fríos con agua pulverizada. Impedir la contaminación de las aguas superficiales o subterráneas por el agua que ha servido a la extinción de incendios. Los restos del incendio así como el agua de extinción contaminada, deben eliminarse según las normas locales en vigor.

Protección personal

En caso de fuego, protéjase con un equipo respiratorio autónomo. Utilícese equipo de protección individual.

6. MEDIDAS EN CASO DE LIBERACIÓN ACCIDENTAL

Precauciones personales

Deben excluirse de la zona de vertido del producto a aquellas personas que no lleven un equipo protector hasta que se haya completado la limpieza.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



ASHLAND		Página: 3 of 8
FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD		Fecha de revisión: 25.06.2009
		Fecha de impresión: 23.10.2009
DREWBROM® PRECURSOR		Número MSDS: R0249598 Versión: 1.3

Precauciones para la protección del medio ambiente

Impedir nuevos escapes o derrames de forma segura.

Métodos de limpieza

Los derramamientos grandes se deben recoger mecánicamente (remoción por bombeo) para su disposición. Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación.

Otra información

Cumplir todos los reglamentos federales, estatales y locales aplicables.

7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Manipulación

No respirar vapores o niebla de pulverización. Ver sección 8 para el equipo de protección personal.

Disponer de la suficiente renovación del aire y/o de extracción en los lugares de trabajo. Evitar sobrepasar los límites dados de exposición profesional (ver sección 8). No fumar, no comer ni beber durante el trabajo.

Disposiciones normales de protección preventivas de incendio.

Almacenamiento

Almacenar en envase original. Cerrar los recipientes herméticamente y mantenerlos en lugar seco, fresco y bien ventilado. Los contenedores que se abren deben volverse a cerrar cuidadosamente y mantener en posición vertical para evitar pérdidas. Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas. Proteger contra las heladas.

8. CONTROLES DE LA EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL

Directriz de Exposición

Consejo general

Estas recomendaciones establecen pautas generales para la manipulación de este producto. Los equipos de protección personal deben seleccionarse para cada aplicación individual y deben considerarse los factores que afecten la posibilidad de exposición, como las prácticas de manipulación, las concentraciones de productos químicos y la ventilación. Es responsabilidad final del empleador cumplir con las disposiciones reglamentarias establecidas por las autoridades locales. Manténgase lejos de alimentos, bebidas y piensos.

No comer, ni beber, ni fumar durante su utilización. Asegúrese de que las estaciones de lavado de ojos y las duchas de seguridad estén localizadas cerca del sitio de trabajo.

Controles de la exposición

Proporcione la ventilación mecánica suficiente (ventilación general y/o local) para mantener la exposición por debajo del nivel de sobre exposición (desde efectos adversos conocidos, sospechosos o aparentes).



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



ASHLAND		Página: 4 of 8
FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD		Fecha de revisión: 25.06.2009
		Fecha de impresión: 23.10.2009
DREWBROM® PRECURSOR		Número MSDS: R0249598 Versión: 1.3

Protección de los ojos

Gafas protectoras con cubiertas laterales

Protección de la piel y del cuerpo

Llevar cuando sea apropiado: zapatos de seguridad

Use guantes resistentes como los siguientes:

Guantes de alcohol polivinílico o de goma de butil nitrilo

Protección respiratoria

No se necesita normalmente equipo de protección personal respiratorio.

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Estado físico	líquido
Estado físico	sin datos disponibles
Color	incolore
Olor	sin datos disponibles
Temperatura de ebullición/rango	218.00 °F @ 760.00 mmHg
Punto/intervalo de fusión	sin datos disponibles
pH	7.0
Punto de inflamación	, no aplicable
Índice de evaporación	1 (diétil éter)
Límite de explosión, inferior/Límite de explosión, superior	sin datos disponibles
Presión de vapor	17.50 mmHg @ 68.00 °F
Densidad de vapor	0.6 (AIRE = 1)
Densidad	1.435 gcm ³ @ 77.00 °F / 25.00 °C
Solubilidad	sin datos disponibles
Coefficiente de reparto n-octanol/agua	sin datos disponibles
log Pow	sin datos disponibles
Temperatura de ignición espontánea	sin datos disponibles
Viscosidad, dinámica	sin datos disponibles
Viscosidad, cinemática	sin datos disponibles

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad

Sin peligros a mencionar especialmente.

Condiciones que deben evitarse

No conocidos.



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



ASHLAND		Página: 5 of 8
FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD		Fecha de revisión: 25.06.2009
		Fecha de impresión: 23.10.2009
DREWBROM® PRECURSOR		Número MSDS: R0249598
		Versión: 1.3

Productos incompatibles

Materiales aniónicos, sustancias oxidables

Productos de descomposición peligrosos

Orgánicos indefinidos, dióxido de carbono y monóxido de carbono

Reacciones peligrosas

La polimerización peligrosa no ocurre.

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Vías de exposición

Contacto dérmico, Contacto Ocular, Ingestión

Contacto con los ojos

Puede irritar los ojos.

Contacto con la piel

Puede irritar la piel.

Ingestión

No se conocen efectos negativos en caso de ingestión

Inhalación

Se desconoce si tiene un efecto nocivo al inhalarse.

Condición Médica Agravada

Los trastornos preexistentes de los siguientes órganos (o sistemas orgánicos) pueden verse agravados por la exposición a este material: pulmón (por ejemplo, condiciones parecidas al asma).

Síntomas

Los signos y síntomas de la exposición a este material, ya sea por inhalación, ingestión y/o absorción cutánea pueden incluir: irritación (nariz, garganta, vías respiratorias).

Órganos diana

Sin datos disponibles

Datos de los componentes

Toxicidad agua por vía oral

Bromuro de sodio DL50 rata: 4,200 mg/kg



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



ASHLAND		Página: 6 of 8
FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD		Fecha de revisión: 25.06.2009
		Fecha de impresión: 23.10.2009
DREWBROM® PRECURSOR		Número MSDS: R0249598 Versión: 1.3

Toxicidad aguda por inhalación

Bromuro de sodio sin datos disponibles

Toxicidad dérmica aguda

Bromuro de sodio DL50 conejo: > 2,000 mg/kg

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Información del Producto

Toxicidad acuática

Sin datos disponibles

Vías de propagación en el medio ambiente y destino final de la sustancia

Biodegradación

Sin datos disponibles

Bioacumulación

No se puede determinar el potencial de bioacumulación.

Datos de los componentes

Bromuro de sodio (CAS 7647-15-6)

96 h CL50 Pimephales promelas (Piscardo de cabeza gorda) Ensayo estático: 15,614 - 17,428 mg/l

48 h CE50 Daphnia magna (Pulga de mar grande) Ensayo estático: 5,700 - 10,800 mg/l

13. CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACIÓN

Métodos de eliminación de los desechos

Dispóngase de acuerdo a las Directivas Europeas sobre desechos y desechos peligrosos. No contaminar los estanques, ríos o acequias con producto químico o envase usado. Contenedor peligroso cuando está vacío. Eliminar, observando las normas locales en vigor.

Empaquetado al vacío

Vaciar el contenido restante. Eliminar como producto no usado. Los contenedores vacíos deben ser llevados a un sitio de manejo aprobado para desechos, para el reciclado o eliminación. No reutilizar los recipientes vacíos. No queme el bidón vacío ni utilizar antorchas de corte con el.

Catálogo de Desechos Europeos

El código de Residuos debería asignarse durante el análisis entre el usuario y la empresa de eliminación de residuos.



Desinfección de agua de torres de refrigeración
con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



ASHLAND		Página: 7 of 8
FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD		Fecha de revisión: 25.06.2009
		Fecha de impresión: 23.10.2009
DREWBROM® PRECURSOR		Número MSDS: R0249598
		Versión: 1.3

14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

ADR

Mercancía no peligrosa

ADNR

Mercancía no peligrosa

RID

Mercancía no peligrosa

IMDG

Mercancía no peligrosa

IATA_P

Mercancía no peligrosa

IATA_C

Mercancía no peligrosa

Es posible que las descripciones de los productos peligrosos (si se indicaron anteriormente) no reflejen las excepciones que pueden aplicarse en la cantidad, la aplicación o aquellas que sean específicas a una región. Para consultar las descripciones específicas para el envío, remítase a los documentos de envío.

Descripción para el Uso del Producto

Uso profesional

Símbolos de peligro

Ninguno(a)

Frase(s) – R

Frase(s) – S

Contiene



**Desinfección de agua de torres de refrigeración
con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM**



ASHLAND		Pagina: 8 of 8
FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD		Fecha de revisión: 25.06.2009
		Fecha de impresión: 23.10.2009
DREWBROM® PRECURSOR		Número MSDS: R0249598 Versión: 1.3

16. OTRA INFORMACIÓN

El texto completo de las frases-R referidas en los puntos 2 y 3:

La información incluida en este documento se considera precisa, pero no se garantiza que se haya originado en la compañía. Se recomienda a los destinatarios confirmar de antemano que la información esté vigente, sea aplicable y corresponda a sus circunstancias. Esta Hoja de datos sobre seguridad del material (Material Safety Data Sheet, MSDS) ha sido preparada por el Departamento de Medioambiente, Salud y Seguridad de Ashland (+31 10 497 5000).



6.BIBLIOGRAFÍA



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



Páginas web

- www.randomhistory.com. Página web dedicada a la descripción de la evolución de diferentes hechos relevantes.
- www.sciencedirect.com. Página web con fuentes de información especializada para ingenieros, técnicos y médicos.
- www.im.microbios.org. Revista española de la asociación de microbiología.
- www.excelwater.com. Página web de una empresa dedicada a tratamientos de agua y accesorios para su realización.
- www.elaguapotable.com. Página web dedicada al agua y sus tratamientos.
- www.cloro.info. Página web de la asociación española de productos de cloro.
- www.firesprinkler.org. Página web de la asociación americana de bomberos.
- www.hidritec.com. Página web de una ingeniería especializada en tratamientos de agua.

Libros de consulta

- Schlunder E.U, "Diseño manual de intercambiadores de calor", Editorial Hemisphere, Washington D.C(1983).



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



- Rivas Mijares,g, "La desinfección del agua en áreas tropicales", Editorial Italgráfica, Caracas(1990).
- Kern D.Q y Kraus A.D," Transferencia de calor en la superficie", Editorial Mcgraw Hill, Nueva York (1972).
- Conferencia inaugural del congreso "Legionella hoy: gestión de la prevención",5 y 6 de febrero de 2004 Terrassa (Barcelona).
- Catalán Lafuente, J.G,"Química del agua", Editorial Bellisco,Madrid(1990).
- Brenda J. Little y Jason L.Lee, "Influencia microbiológica en la corrosión",Editorial Wiley,Nueva Jersey(2007).
- Información cedida por Equipos y Suministros,S.L, Ashland, Veneto, Euro-Bombas,S.L y Laboratorios IHC.



7.ÍNDICE

DE

REACCIONES



Desinfección de agua de torres de refrigeración con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM



1. $\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{Br}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Br}_2$ Pág.59
2. $\text{NaBr} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{HBr} + \text{NaHSO}_4$ Pág.59
3. $2\text{HBr} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Br}_2 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ Pág.59
4. $2\text{Br}^- \rightarrow \text{Br}_2 + 2\text{e}^-$ Pág.59
5. $2\text{Br}^- + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{Cl}^- + \text{Br}_2$ Pág.60
6. $\text{Br}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HBrO} + \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Br}^-$ Pág.60
7. $\text{HBrO} + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{BrO}^- + 2\text{H}_3\text{O}^+$ Pág.60
8. $2\text{NH}_2\text{Br} + \text{HBr} \rightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O} + 3\text{HBr}$ Pág.66
9. $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HCl} + \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ Pág.70
10. $\text{HClO} \leftrightarrow \text{ClO}^- + \text{H}^+$ Pág.70 y 76
11. $\text{NaClO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HClO} + \text{NaOH}$ Pág.73
12. $\text{Ca}(\text{ClO})_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{ClO}^-$ Pág.76
13. $2\text{R-CO-CH}_3 + 3\text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{R-COCCl}_3 + 3\text{H}_2$ Pág.87
14. $\text{R-COCCl}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{R-CO-OH} + \text{CHCl}_3$ Pág.87
15. $\text{NH}_3 + \text{HClO} \leftrightarrow \text{NH}_2\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$ Pág.89
16. $\text{C}_5\text{H}_6\text{BrClN}_2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_5\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2 + \text{HBrO} + \text{Cl}^-$ Pág.97
17. $\text{HClO} + \text{Br}^- \rightarrow \text{HBrO} + \text{Cl}^-$ Pág.97 y 107
18. $\text{BrCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HBrO} + \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ Pág.98



**Desinfección de agua de torres de refrigeración
con $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ + DREWBROM**



19. $\text{DREWBROM} + \text{NaClO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HBrO} + \text{NaCl} + \text{NaOH}$ Pág.106

20. $\text{DREWBROM} + \text{Ca}(\text{ClO})_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HBrO} + 2\text{NaCl} + \text{Ca}(\text{OH})_2$ Pág.106

21. $2(\text{ClO})^- + 2\text{Br}^- \rightarrow 2\text{BrO}^- + 2\text{Cl}^-$ Pág.111